



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA

**Evaluación de la ecología térmica, ectoparasitismo, coloración y
dieta de *Sceloporus mucronatus* (Squamata: Phrynosomatidae)
en dos poblaciones en el estado de Hidalgo, México**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN**

PRESENTA:

ALEXIS MISAEL LEONARDO GONZÁLEZ

**DIRECTOR: Dr. AURELIO RAMÍREZ BAUTISTA
CODIRECTOR: Dr. AARON GARCÍA ROSALES**

MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO, MÉXICO NOVIEMBRE 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Área Académica de Biología

Department of Biology

Mineral de la Reforma, Hgo., a 31 de octubre de 2025

Número de control: ICBI-AAB/981/2025
Asunto: Autorización de impresión de tesis.

MTRA.OJUKY DEL ROCIO ISLAS MALDONADO DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

El Comité Tutorial del nombre del producto que indique el documento curricular del programa educativo de posgrado titulado **"Evaluación de la ecología térmica, ectoparasitismo, coloración y dieta de Sceloporus mucronatus (Squamata: Phrynosomatidae) en dos poblaciones en el estado de Hidalgo, México."**, realizado por el sustentante **Alexis Misael Leonardo González** con número de cuenta **370125** perteneciente al programa de **MAESTRIA EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que el sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

El Comité Tutorial


Dr. Aurelio Ramírez Bautista
Vocal


Dra. Ana Paola Martínez Falcón
Presidente


Dr. Aron García Rosales
Secretario


Dr. Ricardo Paredes León
Suplente

LFRP/DEGL

Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40063, 40064 y 40065
aab_icbi@uaeh.edu.mx, maritzal@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



2025



uaeh.edu.mx

El valor del conocimiento no solo radica en la capacidad de tener respuestas correctas, comprenderlas y explicarlas, sino también en formular preguntas acertadas.

Alexis M. Leonardo-González

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, a mi madre Maricela González, a mi padre Miguel Leonardo y a mi hermano Luis Leonardo por brindarme todo su amor y cariño, además de apoyarme incondicionalmente en todas mis decisiones personales.

Al Dr. Aurelio Ramírez Bautista, por haberme brindado su amistad, apoyo, conocimiento y experiencia a lo largo de mi vida académica, además de ser mi guía en este mundo tan abstracto como hermoso: la herpetología.

A mi comité, al Dr. Aarón García Rosales, a la Dra. Ana Paola Martínez Falcón y al Dr. Ricardo Paredes León, por brindarme su amistad, conocimientos en sus respectivas áreas y en general, por haberme brindado apoyo incondicional a lo largo de este proyecto.

A mis compañeros de laboratorio, al Dr. Cesar Díaz, al los M. en C., Israel Moreno, Lizzeth Torres, Rodolfo Guzmán y Tonantzin Carmona, y a los biólogos Alan Olvera y Emiliano Hernández, por todos los momentos inolvidables que hemos compartido en campo y laboratorio, por estimular mi curiosidad en la biología, por ser mis amigos, colegas y, en más de una vez, mis mentores, por compartirme su conocimiento y entusiasmo por la ciencia, y por su apoyo y colaboración en este presente trabajo.

A mis compañeros de generación, Alberto Carrasco, Cyntia Salazar, Dani Gómez, Gaby González, Ihory Ponce, Lola Burgos, Martha Guerrero, Martín Villegas y Moni Contreras, por compartir su conocimiento en sus respectivas áreas, además de su gran amistad e

innumerables momentos de diversión y aprendizaje en las aventuras que hemos vivido.

A la comunidad de la Estanzuela, en especial al Don Reyes, guardabosques y amante de la naturaleza, de quién por años he aprendido mucho de la cultura y naturaleza de este bello sitio.

A la comunidad de Canta Ranas, en especial a los ejidatarios quienes facilitaron el trabajo en campo y el acercamiento a la comunidad.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS	3
Objetivo general.....	3
Objetivos particulares	3
HIPÓTESIS	4
ANTECEDENTES	4
Especie de estudio	5
Obtención de calor.....	7
Los ácaros en los sceloporinos.....	9
Coloración y sus implicaciones en la ecología.....	10
Composición de la dieta	11
ESTRUCTURA DE LA TESIS	12
LITERATURA CITADA.....	14
CAPÍTULO I.....	24
CAPÍTULO II.....	53
CAPÍTULO III.....	98
CONCLUSIONES GENERALES.....	127
CONSIDERACIONES PARA FUTUROS ESTUDIOS	128

CAPÍTULO I: DIMORFISMO SEXUAL Y ECOLOGÍA TÉRMICA DE LA LAGARTIJA VIVÍPARA *Sceloporus mucronatus* (SQUAMATA: PHRYNOSOMATIDAE) EN DOS POBLACIONES DE BOSQUE DE PINO- ENCINO

I. RESUMEN.....	25
II. INTRODUCCIÓN	26
III. MÉTODO	29
Sitios de estudio	29
Toma de datos.....	32

Análisis de datos.....	34
IV. RESULTADOS.....	36
Dimorfismo sexual y diferencias interpoblacionales en tallas	36
Ecología térmica	37
V. DISCUSIÓN	41
VI. CONCLUSIÓN	45
VII. LITERATURA CITADA.....	46

CAPÍTULO II: VARIACIÓN ESPACIAL Y ESTACIONAL EN LA CARGA ECTOPARASITARIA Y COLORACIÓN DE LA LAGARTIJA *Sceloporus mucronatus* (SQUAMATA: PHRYNOSOMATIDAE)

I. RESUMEN.....	54
II. INTRODUCCIÓN	55
III. MÉTODO	58
Sitios de estudio	58
Trabajo de campo.....	59
Trabajo de laboratorio y procesamiento de muestras	62
Análisis de datos.....	65
IV. RESULTADOS.....	67
Registro acaralógico	67
Caracterización de la infestación y distribución corporal de ácaros	69
Factores que promueven la intensidad de ácaros	72
Cambios de coloración en espacio y tiempo.....	77
V. DISCUSIÓN	82
VI. CONCLUSIÓN	88
VII. LITERATURA CITADA.....	89

CAPÍTULO III: ECOLOGÍA TRÓFICA Y SU RELACIÓN CON ALGUNAS DIMENSIONES CORPORALES EN DOS POBLACIONES DE *Sceloporus mucronatus* (SQUAMATA: PHRYNOSOMATIDAE)

I. RESUMEN.....	99
II. INTRODUCCIÓN	100

III. MÉTODO	102
Sitios e estudio	102
Muestreo.....	102
Análisis estadístico	105
IV. RESULTADOS.....	106
Morfología.....	106
Composición de la dieta	108
V. DISCUSIÓN	116
VI. CONCLUSIÓN	120
VII. LITERATURA CITADA	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Macho adulto de <i>Sceloporus mucronatus</i> con su coloración característica de dorso naranja y negro, vientre con parches azules y collar negro.....	7
--	---

CAPÍTULO I: DIMORFISMO SEXUAL Y ECOLOGÍA TÉRMICA DE LA LAGARTIJA VIVÍPARA *Sceloporus mucronatus* (SQUAMATA: PHRYNOSOMATIDAE) EN DOS POBLACIONES DE BOSQUE DE PINO-ENCINO

Figura 1. Sitios de estudio: La Estanzuela, ubicado en el municipio de Mineral del Chico, Hidalgo; y Canta Ranas, ubicado en el municipio de Santiago Tulantepec, Hidalgo.....	31
Figura 2. Obtención de datos de 1) temperatura corporal: introduciendo la sonda del termómetro digital en la cloaca de la lagartija, y 2) temperatura ambiental: mediante un termohigrómetro a una altura de 1 metro desde el suelo.....	34
Figura 3. Correlación positiva y significativa ($r_s=0.63$, $P<0.001$) entre la temperatura corporal y la temperatura del sustrato del total de individuos de La Estanzuela, graficado mediante los residuos obtenidos en la correlación parcial ajustados a un modelo de correlación lineal.....	39
Figura 4. Correlación positiva y significativa ($r_s=0.314$, $P=0.012$) entre la temperatura corporal y la temperatura del sustrato del total de individuos de Canta Ranas graficado mediante los residuos obtenidos en la correlación parcial y ajustándolos a un modelo de correlación lineal.....	40

CAPÍTULO II: VARIACIÓN ESPACIAL Y ESTACIONAL EN LA CARGA ECTOPARASITARIA Y COLORACIÓN DE LA LAGARTIJA *Sceloporus mucronatus* (SQUAMATA: PHRYNOSOMATIDAE)

Figura 1. Delimitación de zonas corporales. De lado izquierdo se muestra una vista dorsal y de lado derecho vista ventral. Cabeza (A), cuello (B), extremidades anteriores (C), dorso (D), vientre (E), extremidades posteriores (F) y cola (G).	61
Figura 2. Set fotográfico en donde se tomaron fotografías digitales del dorso y vientre de los individuos.	62
Figura 3. Representación de las 4 muestras de color obtenidas para las regiones del 1) dorso, 2) vientre y 3) gula. A la izquierda una vista dorsal y a la derecha una vista ventral de un individuo macho adulto.....	65
Figura 4. Ácaro adulto de la especie <i>Geckobiella pelaezi</i>	68
Figura 5. Ácaro adulto de la especie <i>Geckobiella texana</i>	68
Figura 6. Larva de ácaro de la especie <i>Eutrombicula algreddugesi</i>	69
Figura 7. Distribución de los ácaros en la región del cuerpo de las lagartijas de La Estanzuela (LE) y Canta ranas (CR) en temporada de lluvias y secas. Se menciona la abreviación de Extremidades como “Ext”	72
Figura 8. Correlación entre la longitud hocico-cloaca (LHC en mm) y el número de ácaros presentes en las lagartijas de la población de La Estanzuela ($r_s=0.463$, $P<0.001$).....	74
Figura 9. Correlación entre la longitud hocico-cloaca (LHC en mm) y el número de ácaros presentes en las lagartijas de la población de Canta Ranas ($r_s=0.060$, $P=0.615$).....	75
Figura 10. A) Macho adulto con coloración ventral característica de hembras (LHC=80.58mm), B) Hembra adulta con coloración ventral característica de machos (LHC=76.27 mm)	78

**CAPÍTULO III: ECOLOGÍA TRÓFICA Y SU RELACIÓN CON ALGUNOS
RASGOS MORFOMÉTRICOS EN DOS POBLACIONES DE *Sceloporus
mucronatus* (SQUAMATA: PHRYNOSOMATIDAE)**

Figura 1. Técnica de regurgitación para la extracción de contenido estomacal.....	104
Figura 2. Clasificación jerárquica de presas consumidas de acuerdo al Índice de importancia relativa (IRI) ponderado propuesto por Aun et al., 1999, en donde la presa con mayor IRI se considera el 100%, en este caso Coleoptera (A). Los insectos holometábolos se separan por larvas (L) y adultos (A).....	110

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I: DIMORFISMO SEXUAL Y ECOLOGÍA TÉRMICA DE LA LAGARTIJA VIVÍPARA *Sceloporus mucronatus* (SQUAMATA: PHRYNOSOMATIDAE) EN DOS POBLACIONES DE BOSQUE DE PINO- ENCINO

Tabla 1. Dimorfismo sexual en dos poblaciones de <i>Sceloporus mucronatus</i> distribuidas en el estado de Hidalgo. Se muestran los valores de índice de dimorfismo de tamaño (SDI, un valor positivo indica que los machos son más grandes y un valor negativo indica que las hembras son más grandes), y comparaciones entre sexos (mediante pruebas de U de Mann-Whitney) de la longitud hocico-cloaca (LHC, mm), y las proporciones entre el largo de la cabeza (LCa), ancho de la cabeza (ACa), largo de antebrazo (LAn), largo de la tibia (LTi) y largo de la cola (LCo) respecto a la LHC. Se muestra la media y la desviación estándar ($\bar{x} \pm DE$). Los valores estadísticamente significativos están marcados con asterisco (*) y resaltados en negritas.	37
Tabla 2. Comparación de temperaturas corporales (T_c) y temperaturas del sustrato (T_s) para cada temporada (lluvias y secas), Población (LE=La Estanzuela, CR=Canta Ranas) y sexo (machos y hembras), se muestra la media y la desviación estándar ($\bar{x} \pm DE$). Los valores estadísticamente significativos están marcados con asterisco (*) y resaltados en negritas.	38
Tabla 3. Correlaciones parciales entre la temperatura corporal (T_c) de los individuos vs la temperatura de sustrato (T_s), temperatura ambiental (T_a) y longitud hocico-cloaca (LHC) para cada sexo y población. Los valores estadísticamente significativos están marcados con asterisco (*) y resaltados en negritas.	40

CAPÍTULO II: VARIACIÓN ESPACIAL Y ESTACIONAL EN LA CARGA ECTOPARASITARIA Y COLORACIÓN DE LA LAGARTIJA *Sceloporus mucronatus* (SQUAMATA: PHRYNOSOMATIDAE)

Tabla 1. Caracterización de las infestaciones por ácaros durante la temporada de lluvias y secas en la población de La Estanzuela, Mineral del Chico. El guion bajo () significa falta de datos.....	70
Tabla 2. Caracterización de las infestaciones por ácaros durante la temporada de lluvias y secas en la población de Canta Ranas, Santiago Tulantepec.....	71
Tabla 3. Correlaciones de Spearman entre el número de ácaros presentes en el cuerpo y distintas variables morfológicas (LHC=longitud hocico-cloaca, ICF= Índice de condición física, H= Tono, S= Saturación y B= Brillo). Los valores estadísticamente significativos están marcados con asterisco (*) y en negritas...	73
Tabla 4. Modelos lineales generalizados aplicados al número de ácaros presentes por individuo (Intensidad). Se muestra el valor de criterio de información de Akeike ajustado a muestras pequeñas (AICc). El modelo seleccionado para la interpretación de los resultados (más parsimonioso) se muestra en la primera línea marcado con asterisco en negritas.....	46
Tabla 5. Resultados del modelo lineal generalizado que tuvo un mejor ajuste. Los valores estadísticamente significativos están marcados con asterisco (*) y en negritas	77
Tabla 6. Promedio y desviación estándar ($\bar{x} \pm DE$) de atributos de color del vientre, dorso y gula de machos y hembras. Se presentan los valores de Tono (H, expresado en grados), Saturación (S, expresado en porcentaje) y Brillo (B, expresado en porcentaje). Además, una muestra de color creada a partir de estos valores.....	79
Tabla 7. Las PERMANOVA's aplicadas para machos y hembras por separado, donde el tono (H), brillo (B) y saturación (S) del vientre (Vi), Dorso (Do) y región gular (Gu) son las variables dependientes, y la población y temporada los	

factores. Las variables seleccionadas para la interpretación de los resultados (aquellas que promueven la diferencia entre factores) se muestran en negritas .. 81

Tabla 8. Valores resultantes de F y P para la PERMANOVA utilizando solo aquellas variables que promueven diferencia entre factores. Los valores estadísticamente significativos se indican con un asterisco (*) y en negritas..... 82

CAPÍTULO III: ECOLOGÍA TRÓFICA Y SU RELACIÓN CON ALGUNOS RASGOS MORFOMÉTRICOS EN DOS POBLACIONES DE *Sceloporus mucronatus* (SQUAMATA: PHRYNOSOMATIDAE)

Tabla 1. Comparación mediante pruebas de U de Mann-Whitney entre longitud hocico-cloaca (LHC), largo de la cabeza (LCa) y ancho de la cabeza (ACa) entre machos y hembras de dos poblaciones de <i>Sceloporus mucronatus</i> . Los valores estadísticamente significativos están marcados con asterisco (*) y en negritas.....	107
Tabla 2. Composición de dieta del total de individuos. Se muestran los porcentajes del número (%), volumen (%V), frecuencia de ocurrencia (%F) e índice de importancia relativa (IRI) para cada categoría trófica. Para los insectos holometábolos se muestran adultos (A) y larvas (L).....	108
Tabla 3. Composición de dieta de machos y hembras de La Estanzuela en temporada de lluvias y secas. Se muestran los porcentajes del número (%), volumen (%V), frecuencia de ocurrencia (%F) e índice de importancia relativa (IRI) para cada categoría trófica. Para los insectos holometábolos se muestran adultos (A) y larvas (L).....	111
Tabla 4. Amplitud de nicho trófico de las poblaciones de La Estanzuela y Canta Ranas durante las temporadas de lluvias y secas.....	113
Tabla 5. Sobrelapamiento de nicho trófico en las poblaciones de La Estanzuela	

(LE) y Canta Ranas (CR), sobre la línea se muestra la temporada de lluvias y debajo de ésta la temporada de secas.....113

Tabla 6. Índice de importancia relativa (IRI) por grado de dureza y evasividad de presas consumidas por machos y hembras durante temporada de lluvias y secas en las poblaciones de La Estanzuela y Cantarranas. La dureza y evasividad de cada presa se categorizó de acuerdo a Vanhooydonck *et al.* (2007).....113

Tabla 7. Composición de dieta de machos y hembras de Canta Ranas en temporada de lluvias. Se muestran los porcentajes del número (%), volumen (%V), frecuencia de ocurrencia (%F) e índice de importancia relativa (IRI) para cada categoría trófica. Para los insectos holometábolos se muestran adultos (A) y larvas (L).....115

INTRODUCCIÓN GENERAL

En México existe una alta diversidad de especies de lagartijas, lo cual es resultado del gran número de regiones biogeográficas (Morrone, 2005), que a su vez promueven y establecen una gran riqueza de tipos de vegetación (Rzedowski y Huerta, 1978); por lo que, hoy se conocen más de 496 especies de lagartijas para el país (Ramírez-Bautista *et al.*, 2023). Las lagartijas constituyen un grupo altamente diverso que incluye un gran número de especies distribuidas a lo largo de todo el territorio nacional, así como fuera de él. Este grupo comprende tanto especies endémicas como no endémicas, las cuales habitan en una amplia variedad de regiones biogeográficas y tipos de vegetación. Además, su distribución abarca un amplio rango latitudinal y altitudinal, desde el nivel del mar hasta más de 4,000 msnm. Algunas de las familias con un amplio rango de distribución son Anguidae, Scincidae, Teiidae, Anolidae, y Phrynosomatidae, esta última con alrededor de 10 géneros, dentro de la que se encuentra el género *Sceloporus* con una riqueza mayor a 100 especies (Ramírez-Bautista *et al.*, 2023). Por lo que, siendo el grupo más diverso, se distribuyen en una gran diversidad de climas (Sites *et al.*, 1992).

La mayoría de especies del género *Sceloporus* tiene poblaciones abundantes, que se encuentran en actividad todo el año, sus tallas pueden ir de chicas (e. g. *S. parvus*), medianas (e.g. *S. pyrocephalus*) y grandes (e. g. *S. serrifer*, *S. spinosus*, *S. mucronatus*), así su tasa de crecimiento y edad a la madurez, varían dentro y entre sus poblaciones, entre sexos y especies (Hernández-Salinas *et al.*, 2010; Ramírez-Bautista *et al.*, 2014a). Además, es uno de los grupos que ha evolucionado de forma independiente de ovípara a vivípara, es decir, presenta los dos modos de reproducción (Guillette, 1980). Por lo que, estas especies han motivado a un gran número de investigadores nacionales y extranjeros para plantear hipótesis ecológicas y evolutivas, y contestarlas a corto, mediano y largo plazo (Wiens y Reeder, 1997; Ramírez-Bautista *et al.*, 2015, 2016; Wishingrad y Thomson, 2023).

Específicamente, en el campo de la sistemática y taxonomía se han hecho diversos arreglos taxonómicos haciendo uso de los métodos morfológicos, moleculares (Arévalo *et al.*, 1993); de comportamiento, ecología (dieta, uso de microhábitat, entre otros), reproducción y evolución de historias de vida (Ramírez-Bautista *et al.*, 2011). En estos trabajos se han probado diversos patrones de talla y tamaño de camada (*S. grammicus*; Ramírez-Bautista *et al.*, 2011), variación de dimorfismo sexual entre hembras y machos (*S. pyrocephalus*; Ramírez-Bautista *et al.*, 2004; *S. serrifer*; Rodríguez-González *et al.*, 2025), o bien carencia de dimorfismo en la morfología entre hembras y machos (*S. formosus*; Ramírez-Bautista y Pavón, 2009), ecología térmica (*S. mucronatus*; García-Rosales *et al.*, 2024), variación morfológica entre poblaciones y años (*S. mucronatus*; García-Rosales *et al.*, 2025) entre otros.

Los estudios previamente realizados en especies del género *Sceloporus* han proporcionado antecedentes importantes sobre aspectos, como los patrones de distribución, diferencias en la talla al alcanzar la madurez sexual entre sexos, tamaño de puesta o camada, y talla de las crías al nacer (Ramírez-Bautista *et al.*, 2006). Sin embargo, aún persisten lagunas significativas en el conocimiento de la historia natural de muchas especies del grupo, entre ellas *Sceloporus mucronatus*.

Hasta el momento, el conocimiento sobre la historia natural es limitado; por lo que, en este trabajo se estudia la fisiología (ecología térmica), ecología (dieta y ectoparasitismo) y morfología (tallas y coloración) de la lagartija vivípara *Sceloporus mucronatus*, evaluando si estas características se mantienen o si son diferenciales entre sexos, poblaciones y/o temporadas.

JUSTIFICACIÓN

El estudio sistemático de la ecología en reptiles escamados es clave para comprender los mecanismos que influyen en su distribución, adaptación en los diferentes ambientes y regulación de sus poblaciones. En el caso de *Sceloporus mucronatus*, es una especie endémica restringida en el centro de México, desde los

1,750 a los 3.050 msnm (Ramírez-Bautista *et al.*, 2014b), en distintos tipos de bosques (pino, encino y pino-encino) y matorral xerófilo, ambientes que puede promover cambios en la historia natural (morfología, fisiología, ecología y comportamiento) de sus poblaciones; sin embargo, poco se ha estudiado en este contexto, excepto escasos estudios sobre reproducción, dinámica de poblaciones y ecología (Búrquez *et al.*, 1986; Lemos-Espinal *et al.*, 1997; Ortega-León *et al.*, 2007; Méndez-de la Cruz *et al.*, 1992; Martínez-Méndez y Méndez-De la Cruz, 2007;), pero con una carencia en algunas otras características como patrones de coloración o parasitismo.

Desde una perspectiva evolutiva, ecológica y de conservación, estos estudios son cruciales para comprender la historia natural de las especies y conocer cómo responden ante las diversas presiones ambientales en su área de distribución (Ortega-León *et al.*, 2007). Además, la información obtenida es clave para el estudio y desarrollo de estrategias de conservación de reptiles en ecosistemas montañosos en México.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la ecología térmica, ectoparasitismo, coloración y dieta en dos poblaciones (Canta Ranas, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero y La Estanzuela, Mineral del Chico) de la lagartija vivípara *Sceloporus mucronatus* distribuidas en bosque de pino-encino del estado de Hidalgo, México.

Objetivos particulares

- Evaluar la presencia de dimorfismo sexual en tamaño y determinar la influencia de la temperatura ambiental y de sustrato en la temperatura corporal de los distintos sexos, poblaciones y temporadas.
- Comparar la distribución corporal de ácaros entre poblaciones y temporadas, e identificar taxonómicamente las especies de ácaros que parasitan en cada temporada.

- Identificar cambios en atributos de color entre poblaciones y temporadas en ambos sexos y determinar los factores morfológicos (morfometría y coloración) y ambientales (localidad estudiada y estacionalidad) que modulan la carga ectoparasitaria.
- Determinar la dieta y su relación con características morfológicas de la cabeza y longitud hocico-cloaca (LHC).

HIPÓTESIS

Ho: Se espera que la ecología térmica, el ectoparasitismo, la coloración y la dieta de *Sceloporus mucronatus* no varíen significativamente en función de la población, la estacionalidad (temporada de lluvia/reproductiva y de secas/no reproductiva) o el sexo (macho y hembra); es decir, que estos caracteres probablemente no presenten plasticidad o que están fijos en la especie.

Ha: Dado que las poblaciones de *Sceloporus mucronatus* habitan en ambientes diferentes en nivel altitudinal, niveles de precipitación y temperaturas ambientales, se espera que la ecología térmica, el ectoparasitismo, la coloración y la dieta varíen significativamente en función de la población, la temporada (lluvias/reproductiva y secas/no reproductiva) y el sexo (machos y hembras). Estas diferencias reflejarían plasticidad fenotípica o ajustes adaptativos de la especie frente a distintos contextos ecológicos.

ANTECEDENTES

Debido a la limitada información sobre esta especie y para tener un panorama más amplio, se tomará en cuenta el conocimiento que se tiene sobre el género, principalmente de las especies filogenéticamente cercanas (*Sceloporus torquatus*, *S. cyanogenys*, *S. cyanostictus*, *S. oregon*, *S. minor*, *S. serrifer*, *S. poinsettii*, *S. sugillatus*, *S. dugesii*, *S. bulleri*, *S. insignis*, *S. jarrovii*, *S. lineolateralis* y *S. grammicus*; Martínez-Méndez y Méndez-De la Cruz, 2007), ya que muchas de estas especies comparten características de sus historias de vida.

Especie de estudio

Los cambios taxonómicos y la adición de nuevas especies al género son continuos y así también los debates a estos cambios basados en la historia evolutiva de algunas especies, es decir, si la o las especies en discusión pertenecen a un grupo monofilético o parafilético (Campillo-García, 2023); por ejemplo, anteriormente se propuso que *S. mucronatus* no comprendía un grupo monofilético y que sus subespecies (*S. m. mucronatus*, *S. m. aureolus* y *S. m. omiltemanus*) deberían elevarse a especies, por lo que, tras cambios en su taxonomía (Martínez-Méndez y Méndez-de la Cruz, 2007; McKay *et al.*, 2019, Wiens *et al.*, 2010, Leaché *et al.*, 2016; Martínez-Méndez *et al.*, 2019) hoy en día solo se reconoce como *S. mucronatus* a lo que antes se consideraba la subespecie *S. m. mucronatus*.

De acuerdo a los cambios taxonómicos mencionados anteriormente, *Sceloporus mucronatus* es una especie endémica del centro de México, que se distribuye en ambientes de montaña a elevaciones que van de los 1,750 a los 3,050 msnm en la Faja Volcánica Transmexicana, en los estados de Hidalgo, Veracruz, Puebla, Tlaxcala, Estado de México, y Ciudad de México (Martínez-Méndez y Méndez-de la Cruz, 2007, Ramírez-Bautista *et al.*, 2014b). *Sceloporus mucronatus* es una especie diurna, de hábitos saxícolas, su actividad máxima ocurre en los horarios más cálidos del día; la especie presenta un collar oscuro (negro) con bordes claros, coloración dorsal negro brillante, color de la región ventral del cuerpo es claro en hembras, mientras que los machos presentan parches ventrales de color azul metálico (Ramírez-Bautista *et al.*, 2014b). Presenta dimorfismo sexual en talla en algunas poblaciones (García-Rosales *et al.*, 2024); su cuerpo es robusto alcanzando una LHC de 78.0 mm y presenta escamas grandes y quilladas; es una especie vivípara con ciclos sincronizados entre los machos y hembras, y tiene un tamaño de camada que va de dos a cinco crías (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988; Villagrán-Santa Cruz *et al.*, 2009; Ramírez-Bautista *et al.*, 2014b).

En especies emparentadas, se ha probado que durante la actividad reproductiva, los machos muestran un patrón de color diferente al de las hembras, lo que le favorece para atraer a su pareja, esta coloración se comienza a expresar desde que

alcanzan la madurez sexual (Carpenter 1995, Lemos-Espinal *et al.*, 1996; Watkins, 1997; Cox *et al.*, 2008), donde los machos presentan un cambio de coloración más vistoso en la región de la garganta, vientre y dorso (Figura 1), estos caracteres se asocian con el status social y actividad reproductiva (Carpenter 1995, Lemos-Espinal *et al.*, 1996), obteniendo colores más intensos durante la temporada reproductiva (cuando suceden los cortejos y apareamientos; Watkins, 1997).

Se ha reportado que, en algunas especies de este grupo, los machos son más activos que las hembras, recorriendo distancias alejadas de sus refugios (ámbito hogareño), este comportamiento los hace más propensos para adquirir larvas de ácaros parásitos (Talleklint-Eisen y Eisen, 1999), lo que a su vez puede provocar anorexia y disminución en la tasa de crecimiento corporal (García-De la Peña *et al.*, 2010). Así mismo, durante la época reproductiva los machos pueden usar perchas más altas para defender territorios y mostrar sus atributos de color, muchas veces obteniendo temperaturas corporales superiores a las hembras debido a esta diferencia en uso de microhábitat (Ramírez-Bautista y Benabib, 2001; Días y Rocha, 2004; Kerr y Bull, 2004).



Figura 1. Macho adulto de *Sceloporus mucronatus* con su coloración característica de dorso naranja y negro, vientre con parches azules y collar negro.

Obtención de calor

La temperatura ambiental es un factor sumamente importante para los animales ectotermos, como lo son las lagartijas, ya que estos requieren de ciertas temperaturas corporales para poder cumplir con funciones tan simples, como son la locomoción y digestión (Harlow *et al.*, 1976; Crowley, 1985; Xiang *et al.*, 1996), por lo tanto, el ambiente térmico influye en su ecología, fisiología y distribución (Barber y Crawford, 1977; Monasterio *et al.*, 2009, 2013).

Se ha observado que diferentes grupos de lagartijas presentan diversos rangos de tolerancia térmica, siendo más amplios en aquellas especies que habitan en zonas con variaciones drásticas de temperatura (Qu *et al.*, 2011), lo que sugiere que la plasticidad térmica es un factor clave en la distribución y persistencia de estas especies en distintos ambientes.

Por otra parte, se ha observado que especies cercanamente emparentadas tienen requisitos térmicos similares (Díaz de la Vega-Pérez *et al.*, 2013; Grigg y Buckley, 2013). Cuando estas especies coexisten en un mismo hábitat (distribución simpátrica), deben repartirse los recursos disponibles, como microhábitats, refugios y horarios de actividad, lo que también implica una competencia por los espacios óptimos para la termorregulación, ya que no todos los sitios ofrecen las mismas condiciones térmicas. En cambio, cuando las distintas especies emparentadas habitan en ambientes con características térmicas contrastantes, las especies utilizan diferentes estrategias para regular su temperatura corporal, como variar la altura de percha, el sustrato donde se asolean o sus periodos de actividad y refugio entre temporadas (Hertz *et al.*, 1994; Xiang *et al.*, 1996; Ramírez-Bautista y Benabib, 2001).

El género *Sceloporus* es un grupo de lagartijas de hábitos diurnos que dependen directamente de la exposición solar para regular su temperatura (Sites *et al.*, 1992; Navas, 1999). Estas especies tienen un rango térmico de preferencia, en donde desempeñan actividades esenciales, como la búsqueda de pareja y búsqueda de presas (Xiang *et al.*, 1996). Para obtener calor, emplean dos mecanismos principales: 1) la heliotermia, captando radiación solar directa a través de su región dorsal, y 2) la tigmotermia, absorbiendo el calor almacenado en el sustrato donde se posan (Zug *et al.*, 2001; Woolrich-Piña, 2006). Además de estas estrategias, factores como la coloración dorsal y el tamaño corporal son características que influyen en la captación de calor y en la velocidad de calentamiento y enfriamiento. Por una parte, los individuos con tonalidades más oscuras pueden absorber mayor cantidad de calor que aquellos con tonos más claros (hipótesis del melanismo térmico), por otra, los de menor tamaño presentan tasas de calentamiento y enfriamiento más aceleradas que aquellos de tallas más grandes (Zamora-Camacho *et al.*, 2014; González-Morales, 2021). En conjunto, estas variables morfológicas y fisiológicas determinan en gran medida la capacidad termorreguladora de los individuos, modulando su temperatura corporal frente a las condiciones ambientales del entorno.

En este contexto, pocos son los estudios enfocados en la ecología térmica de *S. mucronatus*. Lemos-Espinal *et al.* (1997), comprobaron que individuos de una población del Ajusco, CDMX, obtienen el calor por medio de heliotermia, sin embargo, recientemente García-Rosales *et al.*, (2024), comprobaron que los individuos en dos poblaciones en el estado de Hidalgo, obtienen calor por medio de tigmotermia ya que su temperatura corporal se correlaciona más estrechamente con la del sustrato que con la del ambiente. Esto indica que los rasgos térmicos podrían ser plásticos en esta especie, y las características como el dimorfismo sexual, estado reproductivo, estructura de vegetación, y uso de microhábitats podrían tener influencia en su ecología térmica (Beal *et al.*, 2014; García-Rosales *et al.*, 2024)

Los ácaros en los sceloporinos

Se sabe que en las especies del género *Sceloporus* los ácaros se encuentran presentes en distintas zonas corporales, como las extremidades, cuello, dorso, vientre, cola y cabeza, donde usualmente son los machos los que presentan una mayor infestación que las hembras (García-De la Peña *et al.*, 2004). Las familias de ácaros registradas en especies cercanas a *S. mucronatus*, son Pterygosomatidae, Trombiculidae y Leeuwenhoekiiidae (Paredes-León *et al.*, 2008; Montiel-Parra *et al.*, 2009; García-De la Peña, 2010), de las cuales existe gran diversidad de especies adaptadas a diversos tipos de hábitats.

Muchas de estas especies de ácaros pueden ser simpátricas, compitiendo por los mismos recursos y por los mismos hospederos, por lo que, una sola lagartija puede albergar distintas especies de ácaros, quienes se reparten los recursos de diferente manera, habiendo grupos de ácaros que se alojan en determinadas zonas corporales, y otros que se pueden distribuir en cualquier parte del cuerpo, dando como resultado una abundancia y distribución diferencial entre las zonas corporales de las lagartijas y las especies de ácaros (García-De la Peña *et al.*, 2010).

A la fecha, se ha observado que los ácaros trombicúlidos (Trombiculidae) son abundantes en lagartijas saxícolas (García-De la Peña *et al.*, 2004; De Carvalho *et al.*, 2006), debido posiblemente a que microhábitats de rocas y sus grietas proporcionan microclimas que pueden favorecer el desarrollo de las larvas de

ácaros hasta que estas encuentran a un huésped, de esta manera, las características ambientales, como la humedad y ambiente térmico, juegan un papel importante en la incidencia de ácaros presentes en las lagartijas (Rubio-Carrasco, 2007). En este contexto, se puede pensar que la carga parasitaria podría ser similar entre poblaciones distribuidas en circunstancias ambientales parecidas y que el ectoparasitismo podría tener fluctuaciones entre temporadas de lluvia y secas.

Cabe destacar que, hasta la actualidad, no hay estudios enfocados en la identificación taxonómica de ácaros presentes en *S. mucronatus*, por lo que, se desconoce las especies de ácaros pterigosomatidos y trombicúlidos que podrían estar parasitando esta especie y en las poblaciones estudiadas.

Coloración y sus implicaciones en la ecología

En diversos grupos de animales, los patrones de color más vistosos pueden haber evolucionado por diferentes presiones selectivas, entre ellas la selección sexual, la cual favorece la aparición de coloraciones conspicuas como parte de las estrategias de cortejo (Cox *et al.*, 2005). Esto se debe a que los machos con frecuencia exhiben colores o estructuras llamativas como parte de su estrategia de cortejo, lo que se traduce en un mayor éxito reproductivo para aquellos individuos que poseen atributos más llamativos (Anderson, 1994). Este fenómeno se ha documentado ampliamente en un gran número de especies de lagartijas, en las cuales la coloración ventral de machos y hembras está bien diferenciada, siendo los machos quienes presentan tonalidades más vistosas (Carpenter, 1995; Lemos-Espinal *et al.*, 1996).

Este patrón conspicuo de color en los machos suele estar relacionado con funciones de defensa territorial y acceso a hembras durante la temporada reproductiva (Ramírez-Bautista y Benabib, 2001). Si bien, esta estrategia incrementa su éxito reproductivo, también conlleva un costo: los machos se vuelven más visibles para los depredadores, lo que promueve mayores tasas de depredación respecto a las hembras (Leyte-Manrique *et al.*, 2007; García-Rosales y Martínez-Coronel, 2016).

La expresión de la coloración está regulada hormonalmente, principalmente por la testosterona (Cox *et al.*, 2008), por lo que se observan diferencias marcadas entre la temporada reproductiva, cuando los niveles hormonales son elevados, y en la temporada no reproductiva, los niveles hormonales disminuyen (Argaez *et al.*, 2021). Esta variación estacional sugiere que la coloración no es un atributo estático, sino que responde a cambios fisiológicos relacionados con el estado reproductivo del individuo. Sin embargo, el aumento en la producción hormonal, si bien favorece la reproducción al incrementar el comportamiento territorial y la visibilidad ante posibles parejas, también puede tener consecuencias negativas sobre otras funciones del organismo. Una de ellas es la inmunidad, ya que niveles elevados de testosterona pueden suprimir la función inmune, volviendo a los individuos más susceptibles a infecciones y a la adquisición de parásitos como los ácaros (hipótesis de la discapacidad inmunocompetente; Folstad y Karter, 1992; Cox *et al.*, 2008).

Composición de la dieta

En lagartijas omnívoras, la diversidad de presas consumidas a lo largo del año puede variar en función de las condiciones ambientales, como la temperatura y la precipitación, así como por la competencia intra e interespecífica (Ballinger, 1977; Leyte-Manrique y Ramírez-Bautista, 2010). Las fluctuaciones en estos factores promueven cambios en la disponibilidad y abundancia de presas entre estaciones e incluso entre años. Así, algunas presas pueden ser consumidas con mayor frecuencia en determinadas estaciones del año, mientras que la otras permanecen presentes en la dieta durante todo el ciclo anual en proporciones similares. En situaciones ambientales extremas, algunas especies de lagartijas incluso recurren al canibalismo (depredar individuos de su misma especie) o a la saurofagia (depredar a otros lagartos) como estrategia de supervivencia (Serrano-Cardozo *et al.*, 2008; Leyte-Manrique y Ramírez-Bautista, 2010; Cruz-Elizalde *et al.*, 2021).

Además de las condiciones del entorno, características morfológicas como el tamaño de la cabeza y de la mandíbula también podrían influir en la dieta de algunas especies de lagartijas. Por ejemplo, se ha documentado que la capacidad de

capturar y consumir presas grandes (o de estructura dura) algunas veces está asociada con una cabeza de mayor tamaño, capaz de generar una mordida más potente (Herrel *et al.*, 1999). En este sentido, una mandíbula robusta y de mayores dimensiones amplía el espectro de presas potenciales que pueden ser consumidas por el individuo (Galindo-Gil *et al.*, 2015). Este aspecto también puede explicar diferencias alimenticias entre sexos, fenómeno conocido como divergencia de nicho alimentario, donde las diferencias morfológicas entre machos y hembras reducen el solapamiento en el uso de recursos, sin embargo, en algunas especies de sceloporinos se ha documentado un alto solapamiento de nicho alimenticio entre sexos, poblaciones y o temporadas (e. g. *S. minor*; García-Rosales *et al.*, 2019)

En la especie de estudio y en especies filogenéticamente cercanas, se ha documentado una dieta omnívora a lo largo del año, compuesta principalmente por insectos terrestres, como coleópteros y larvas de lepidópteros, así como por materia vegetal, incluyendo tallos, flores y hojas. En general, se ha observado que machos y hembras consumen una dieta similar (Búrquez *et al.*, 1986; Méndez-de la Cruz *et al.*, 1992; Lemos-Espinal y Ballinger, 1996). A pesar de que, en *S. mucronatus* no se han registrado casos de canibalismo, Lemos-Espinal y Ballinger (1996) reportaron la ingestión parcial de la lagartija *Barisia imbricata*, lo cual constituye un caso de saurofagia.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

Con el fin de abordar de manera clara y ordenada los cuatro objetivos particulares de esta tesis, el presente trabajo ha sido estructurado en tres capítulos. Esta división permite desarrollar a profundidad cada línea de estudio, facilitando su análisis individual, pero también permitiendo integrar aquellos aspectos que, por su relación ecológica, pueden tratarse de forma conjunta. La organización es la siguiente:

- **Capítulo I. Dimorfismo sexual y ecología térmica de la lagartija vivípara *Sceloporus mucronatus* (Squamata: Phrynosomatidae) en dos poblaciones de bosque de pino-encino:** Este capítulo responde al primer

objetivo particular. Se analizan posibles diferencias morfológicas entre sexos y poblaciones, con el fin de identificar patrones de dimorfismo sexual o variación geográfica en morfometría, además, se evalúa la influencia de la temperatura ambiental y de sustrato en la temperatura corporal de los individuos, considerando diferencias entre sexos y poblaciones.

- **Capítulo II. Variación espacial y estacional en la carga ectoparasitaria y coloración de la lagartija *Sceloporus mucronatus* (Squamata: Phrynosomatidae):** En este capítulo se abordan de forma conjunta el segundo y tercer objetivo particular, dada la relación funcional entre la carga parasitaria y los atributos de coloración. Se compara la distribución corporal de ácaros entre poblaciones y temporadas, y se identifican taxonómicamente las especies de ácaros presentes. Paralelamente, se analizan los cambios en atributos de color de las lagartijas (tono, saturación y brillo) entre poblaciones, temporadas y sexos, y se evalúa cómo variables morfológicas (coloración y tallas) y ambientales (localidad y estacionalidad) modulan la intensidad del ectoparasitismo.
- **Capítulo III. Ecología trófica y su relación con algunos rasgos morfométricos en dos poblaciones de *Sceloporus mucronatus* (Squamata: Phrynosomatidae):** Este capítulo desarrolla el cuarto objetivo particular, centrado en la ecología trófica de la especie y su relación con la morfometría. Se determina la amplitud y superposición de nicho alimentario, así como los valores de importancia relativa de cada categoría trófica consumida. Se discuten los posibles factores ecológicos y evolutivos que influyen en los patrones tróficos y su relación con los demás aspectos evaluados.

LITERATURA CITADA

Anderson, M. 1994. Sexual Selection. Princeton University, Press, Princeton, NJ.

Arévalo, E., Casas, G., Davis, S. K., Lara, G. y Sites Jr, J. W. 1993. Parapatric hybridization between chromosome races of the *Sceloporus grammicus* complex (Phrynosomatidae): structure of the Ajusco transect. *Copeia*, 352-372.

Argaez, V., Pruett, J. A., Seddon, R. J., Solano-Zavaleta, I., Hews, D. K. y Zuniga-Vega, J. J. 2021. Steroid hormones, ectoparasites, and color: Sex, species, and seasonal differences in *Sceloporus lizards*. *General and Comparative Endocrinology*, 304, 113717.

Ballinger, R. E. 1977. Reproductive strategies: food availability as a source of proximal variation in lizards. *Ecology* 59:628–635

Barber, B. J. y Crawford Jr, E. C. 1977. A stochastic dual-limit hypothesis for behavioral thermoregulation in lizards. *Physiological Zoology*, 50: 53-60.

Beal MS, Lattanzio M.S. y Miles D.B. 2014. Differences in the thermal physiology of adult Yarrow's spiny lizards (*Sceloporus jarrovi*) in relation to sex and body size. *Ecol Evol.* 4:4220–4229.

Búrquez, A., Flores-Villela, O. y Hernandez, A. 1986. Herbivory in a small iguanid lizard, *Sceloporus torquatus torquatus*. *Journal of Herpetology*, 20: 262-264.

Campillo-García, G., Flores-Villela, O. A., Butler, B. O., Benabib, M. y Castiglia, R. 2023. More cryptic diversity among spiny lizards of the *Sceloporus torquatus* complex discovered through a multilocus approach. *Amphibia-Reptilia*, 45: 21-35.

Campillo-García, G., Flores-Villela, O. A., Butler, B. O., Vinasco, J. A. V. y Corona, F. R. 2021. Hidden diversity within a polytypic species: The enigmatic

Sceloporus torquatus Wiegmann, 1828 (Reptilia, Squamata, Phrynosomatidae). Vertebrate Zoology, 71: 781-798.

Carpenter, G. C. 1995. The ontogeny of a variable social badge: throat color development in tree lizards (*Urosaurus ornatus*). Journal of Herpetology, 29:7-13.

Cox, R. M., Skelly, S. L., Leo, A. y John-Alder, H. B. 2005. Testosterone regulates sexually dimorphic coloration in the eastern fence lizard, *Sceloporus undulates*. Copeia, 3: 597-608.

Cox, R. M., Zilberman, V. y John-Alder, H. B. 2008. Testosterone stimulates the expression of a social color signal in yarrow's spiny lizard, *Sceloporus jarrovi*. Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology, 309: 505-514.

Crowley, S. R. 1985. Thermal sensitivity of sprint-running in the lizard *Sceloporus undulatus*: support for a conservative view of thermal physiology. Oecologia, 66: 219-225

Cruz-Elizalde, R., García-Rosales, A., Becerra-López, J. L., Hernández-Austria, R. y Ramírez-Bautista, A. 2021. New data of saurophagy in *Sceloporus variabilis* (Squamata: Phrynosomatidae) and confirmation of cannibalism. Revista Latinoamericana de Herpetología, 4; 140-143

Días, E. J. R. y Rocha, C. F. D. 2004. Thermal ecology, activity patterns, and microhabitat use by two sympatric whiptail lizards (*Cnemidophorus abaetensis* and *Cnemidophorus ocellifer*) from northeastern Brazil. Journal of Herpetology, 38: 586-588.

Díaz de la Vega-Pérez, A. H., Jiménez-Arcos, V. H., Manríquez-Morán, N. L. y Méndez-De la Cruz, F. R. 2013. Conservatism of thermal preferences between parthenogenetic *Aspidoscelis cozumela* complex (Squamata: Teiidae) and their parental species. Herpetological Journal 23:93-104.

Folstad, I. y Karter, A. J. 1992. Parasites, bright males, and the immunocompetence handicap. The American Naturalist, 139: 603-622.

Galindo-Gil, S., Rodríguez-Romero, F. D. J., Velázquez-Rodríguez, A. S. y Moreno-Barajas, R. 2015. Correlaciones morfológicas entre la forma de la cabeza, dieta y uso de hábitat de algunos *Sceloporus* de México: un análisis cuantitativo. *International Journal of Morphology*, 33: 295-300.

García-De la Peña, C., Contreras-Balderas, A., Castañeda, G. y Lazcano, D. 2004. Infestación y distribución corporal de la nigua *Eutrombicula alfreddugesi* (Acari: Trombiculidae) en el lacertilio de las rocas *Sceloporus couchii* (Sauria: Phrynosomatidae). *Acta Zoológica Mexicana*, 20: 159-165.

García-De la Peña, C., Gadsden, H. y Salas-Westphal, A. 2010. Carga ectoparasitaria en la lagartija espinosa de yarrow (*Sceloporus jarrovi*) en el cañón de las piedras encimadas, Durango, México. *Interciencia*, 35: 772-776.

García-Rosales, A. y Martínez-Coronel, M. 2016. Frecuencia de pérdida de la cola en un ensamble de lagartijas de Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 32: 174-181.

García-Rosales, A., Cruz-Elizalde, R., Ramírez-Bautista, A., & Mata-Silva, V. 2019. Feeding ecology of two populations of *Sceloporus minor* (Squamata: Phrynosomatidae) inhabiting contrasting environments in central Mexico. *Salamandra*, 55(2).

García-Rosales, A., Zavala-Hurtado, J. A., Armella-Villalpando, M. A., Díaz-Marín, C. A. y Ramírez-Bautista, A. 2024. Intraspecific variation in morphology and thermal ecology of the cleft lizard *Sceloporus mucronatus* (Squamata Phrynosomatidae): effect of habitat and sex. *Ethology Ecology and Evolution*, 36: 546-571.

García-Rosales, A., Zavala-Hurtado, J. A., Armella-Villalpando, M. A., Ramírez-Bautista, A., & Martínez-Coronel, M. 2025. Spatio-temporal evaluation of some morphological traits of the viviparous lizard *Sceloporus mucronatus* (Squamata: Phrynosomatidae), a species with a high risk of extinction. *Ichthyology & Herpetology*, 113: 263-273.

González-Morales, J. C., Rivera-Rea, J., Moreno-Rueda, G., Bastiaans, E., Díaz-Albiter, H., Díaz de la Vega-Pérez, A. H. y Fajardo, V. 2021. To be small and dark is advantageous for gaining heat in mezquite lizards, *Sceloporus grammicus* (Squamata: Phrynosomatidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 132: 93-103.

Grigg, J. W. y Buckley, L. B. 2013. Conservatism of lizard thermal tolerances and body temperatures across evolutionary history and geography. *Biology letters*, 9: 20121056.

Guillette Jr, L. J., Jones, R. E., Fitzgerald, K. T. y Smith, H. M. 1980. Evolution of viviparity in the lizard genus *Sceloporus*. *Herpetologica*, 201-215.

Harlow, H. J., Hillman, S. S. y Hoffman, M. 1976. The effect of temperature on digestive efficiency in the herbivorous lizard, *Dipsosaurus dorsalis*. *Journal of Comparative Physiology*, 111: 1-6.

Hernández-Salinas, U., Ramírez-Bautista, A., Leyte-Manrique, A. y Smith, G. R. 2010. Reproduction and sexual dimorphism in two populations of *Sceloporus grammicus* (Sauria: Phrynosomatidae) from Hidalgo, Mexico. *Herpetologica*, 66:12-22.

Herrel, A., Spithoven, L.; Van Damme, R. y De Vree, F. 1999. Sexual dimorphism of head size in *Gallotia galloti*: testing the niche divergence hypothesis by functional analyses. *Funct. Ecol.*, 13: 289-97.

Hertz, P. E., Fleishman, L. J. y Armsby, C. 1994. The influence of light intensity and temperature on microhabitat selection in two *Anolis* lizards. *Functional Ecology*, 720-729.

Kerr, G. D. y Bull, C. M. 2004. Microhabitat use by the scincid lizard *Tiliqua rugosa*: Exploiting natural temperature gradients beneath plant canopies. *Journal of Herpetology*, 38: 536-545.

Leaché, A. D., Banbury, B. L., Linkem, C. W. y de Oca, A. N. M. 2016. Phylogenomics of a rapid radiation: is chromosomal evolution linked to increased

diversification in north american spiny lizards (Genus *Sceloporus*)?. BMC Evolutionary Biology, 16: 1-16.

Lemos-Espinal JA, Ballinger RE, Sarabia SS y Smith GR. 1997. Thermal ecology of the lizard *Sceloporus mucronatus mucronatus* in Sierra Del Ajusco, Mexico. Southwest Nat. 42:344–347.

Lemos-Espinal, J. A. y Ballinger, R. E. 1996. Herbivory in the lizard *Sceloporus mucronatus mucronatus* (Sauria: Phrynosomatidae) in sierra del Ajusco, Distrito Federal, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 21: 183-191.

Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. H. y Ballinger, R. E. 1996. Ventral blue coloration and sexual maturation in male *Sceloporus gadoviae* lizards. Journal of Herpetology, 30: 546-548.

Leyte-Manrique, A. y Ramírez-Bautista, A. 2010. Diet of Two Populations of *Sceloporus grammicus* (Squamata: Phrynosomatidae) from Hidalgo, Mexico. The Southwestern Naturalist, 55: 98–103

Leyte-Manrique, A., Ramírez-Bautista, A. y Hernández-Salinas, U. 2007. Contribución a la ecología de *Sceloporus grammicus*: Presencia de cola regenerada en dos poblaciones del estado de Hidalgo México. Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana, 15: 13-15.

Martínez-Mendez, N. y Méndez-De la Cruz, F. R. 2007. Molecular phylogeny of the *Sceloporus torquatus* species-group (Squamata: Phrynosomatidae). Zootaxa, 1609: 53-68.

Martínez-Méndez, N., Mejía, O., Ortega, J. y Méndez-de la Cruz, F. 2019. Climatic niche evolution in the viviparous *Sceloporus torquatus* group (Squamata: Phrynosomatidae). *PeerJ*, 6, e6192.

McKay, J. L., Bernal, E. G., Milenkaya, O., García-Padilla, E. y Castro-Franco, R. 2019. Clave dicotómica para las especies del grupo *torquatus* del género *Sceloporus* (Lacertilia: Phrynosomatidae). Boletín de la Asociación Herpetológica Española, 30: 54-60.

Méndez-de la Cruz, F. R. M., Guillette Jr, L. J., Santa Cruz, M. V. y Casas-Andreu, G. 1988. Reproductive and fat body cycles of the viviparous lizard, *Sceloporus mucronatus* (Sauria: Iguanidae). *Journal of Herpetology*, 22: 1-12

Méndez-de la Cruz, F. R., Casas-Andreu, G. y Cruz, M. V. S. 1992. Variación anual en la alimentación y condición física de *Sceloporus mucronatus* (Sauria: Iguanidae) en la sierra del Ajusco, Distrito Federal, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 37: 349-355.

Monasterio, C., Salvador, A., Iraeta, P. y Díaz, J. A. 2009. The effects of thermal biology and refuge availability on the restricted distribution of an alpine lizard. *Journal of Biogeography*, 36: 1673-1684.

Monasterio, C., Shoo, L. P., Salvador, A., Iraeta, P. y Díaz, J. A. 2013. High temperature constrains reproductive success in a temperate lizard: implications for distribution range limits and the impacts of climate change. *Journal of Zoology*, 291: 136-145.

Montiel-Parra, G., Paredes-León, R., Guzmán-Cornejo, C., Hortelano-Moncada, Y., Pérez, T. M., Lot, A. y Cano-Santana, Z. 2009. Ácaros asociados a vertebrados. Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel, A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF, 385-393.

Morrone, J. J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 76: 207-252.

Navas, C. A. 1999. Biodiversidad de anfibios y reptiles en el páramo: una visión eco-fisiológica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 23: S465-S465.

Ortega-León, A. M., Smith, E. R., Zúñiga-Vega, J. J y Méndez-de la Cruz, F. R. 2007. Growth and demography of one population of the lizard *Sceloporus mucronatus mucronatus*. *Western North American Naturalist*, 67: 492-502.

Paredes-León, R., Garcia-Prieto, L., Guzman-Cornejo, C., Leon-Regagnon, V. y Perez, T. M. 2008. Metazoan parasites of Mexican amphibians and reptiles. *Zootaxa*, 1904: 1-166.

Qu, Y., Li, H., Gao, J., Xu, X. y Ji, X. 2011. Thermal preference, thermal tolerance and the thermal dependence of digestive performance in two *Phrynocephalus* lizards (Agamidae), with a review of species studied. *Current Zoology*, 5: 684-700.

Ramírez-Bautista A, Hernández-Salinas U, Cruz-Elizalde R, Lozano A y Rodríguez- Romero FDJ. 2016. Sexual dimorphism and reproductive traits over time in *Sceloporus aeneus* (Squamata: Phrynosomatidae), based on a population in the Transmexican Volcanic Belt, Mexico. *Salamandra*. 52:197–203.

Ramírez-Bautista, A. y Benabib, M. 2001. Perch height of the arboreal lizard *Anolis nebulosus* (Sauria: Polychrotidae) from a tropical dry forest of México: Effect of the reproductive season. *Copeia*, 2001: 187–193.

Ramírez-Bautista, A. y Olvera-Becerril, V. 2004. Reproduction in the boulder spiny lizard, *Sceloporus pyrocephalus* (Sauria: Phrynosomatidae), from a tropical dry forest of Mexico. *Journal of Herpetology*, 38(2), 225-231.

Ramirez-Bautista, A. y Pavon, N. P. 2009. Sexual dimorphism and reproductive cycle in the arboreal spiny lizard *Sceloporus formosus* Wiegmann (Squamata: Phrynosomatidae) from central Oaxaca, Mexico. *Revista chilena de historia natural*, 82: 553-563.

Ramírez-Bautista, A., García-Collazo, R. y Guillette Jr, L. J. 2006. Reproductive, fat, and liver cycles of male and female rose-bellied lizards, *Sceloporus variabilis*, from coastal areas of southern Veracruz, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 51: 163-171.

Ramírez-Bautista, A., Hernández-Salinas, U., Cruz-Elizalde, R., Berriozabal-Islas. C., Lara-Tufiño, D., Mayer-Goyenechea, I., G. y Castillo-Cerón, J. M. 2014b. Los anfibios y reptiles de Hidalgo, México: Diversidad, biogeografía y conservación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.

Ramírez-Bautista, A., Leyte-Manrique, A., Marshall, J. C. y Smith, G. R. 2011. Effects of elevation on litter-size variation among lizard populations in the *Sceloporus grammicus* complex (Phrynosomatidae) in Mexico. *Western North American Naturalist*, 71: 215-221.

Ramírez-Bautista, A., Luría-Manzano, R., Cruz-Elizalde, R., Pavón, N. P. y Wilson, L. D. 2015. Variation in reproduction and sexual dimorphism in the long-tailed spiny lizard, *Scelopors siniferus*, from the southern Pacific coast of Mexico, *Salamandra*, 51: 73-82.

Ramírez-Bautista, A., Stephenson, B. P., Serrano Munoz, C., Cruz-Elizalde, R. y Hernández-Salinas, U. 2014a. Reproduction and sexual dimorphism in two populations of the polymorphic spiny lizard *Sceloporus minor* from Hidalgo, México. *Acta Zoologica*, 95:397-408.

Ramírez-Bautista, A., Torres-Hernández, L. A., Cruz-Elizalde, R., Berriozabal-Islas, C., Hernández-Salinas, U., Wilson, L. D. y Mata-Silva, V. 2023. An updated list of the Mexican herpetofauna: with a summary of historical and contemporary studies. *ZooKeys*, 1166, 287.

Rodríguez-González, M., Rosales, A. G., Armella-Villalpando, M. A. y Ramírez-Bautista, A. 2025. Dimorfismo sexual en la lagartija vivípara *Sceloporus serrifer* (Squamata: Phrynosomatidae) en el Sureste de su distribución. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 8: e1064-23.

Rubio-Carrasco, A. V. 2007. Parasitismo de ácaros (Acari: trombiculidae) sobre *Liolaemus tenuis* en un bosque maulino fragmentado.

Rzedowski y Huerta, L. 1978. Vegetación de México. México: Editorial Limusa.

Serrano-Cardozo, V. H., Lemos-Espinal, J. A. y Smith, G. R. 2008. Comparative diet of three sympatric *Sceloporus* in the semiarid Zapotitlan Valley, Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 79: 427-434.

Sites Jr., J. W., Archie, J. W., Cole, C. J. y Flores-Villela, O. 1992. A review of phylogenetic hypotheses for lizards of the genus *Sceloporus* (Phrynosomatidae): implications for ecological and evolutionary studies. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 213: 1-110.

Talleklint-Eisen, L. y Eisen, R. J. 1999. Abundance of ticks (Acari: Ixodidae) infesting the western fence lizard, *Sceloporus occidentalis*, in relation to environmental factors. *Exp. Appl. Acarol*, 23: 731-740

Villagrán-Santa Cruz, M., Hernández-Gallegos, O. y Méndez-de la Cruz, F. R. 2009. Reproductive cycle of the lizard *Sceloporus mucronatus* with comments on intraspecific geographic variation. *Western North American Naturalist*, 69: 437-446.

Watkins, G. G. 1997. Inter-sexual signalling and the functions of female coloration in the tropidurid lizard *Microlophus occipitalis*. *Animal Behaviour*, 53: 843-852

Wiens, J. J. y Reeder, T. W. 1997. Phylogeny of the spiny lizards (*Sceloporus*) based on molecular and morphological evidence. *Herpetological Monographs*, 1-101.

Wiens, J. J., Kuczynski, C. A., Arif, S. y Reeder, T. W. 2010. Phylogenetic relationships of phrynosomatid lizards based on nuclear and mitochondrial data, and a revised phylogeny for *Sceloporus*. *Molecular phylogenetics and evolution*, 54: 150-161.

Wishinograd, V. y Thomson, R. C. 2023. Biogeographic inferences across spatial and evolutionary scales. *Molecular Ecology*, 32: 2055-2070.

Woolrich-Piña, G. A., Lemos-Espinal, J. A., Oliver-López, L., Calderón-Méndez, M. E., González-Espinoza, J. E., Correa-Sánchez, F. y Montoya-Ayala, R. 2006. Ecología térmica de una población de la lagartija *Sceloporus grammicus* (Iguanidae: Phrynosomatinae) que ocurre en la zona centro-oriente de la Ciudad de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 22: 137-150.

Xiang, J., Weiguo, D. y Pingyue, S. 1996. Body temperature, thermal tolerance and influence of temperature on sprint speed and food assimilation in adult grass lizards, *Takydromus septentrionalis*. Journal of Thermal Biology, 21: 155-161.

Zamora-Camacho, F. J., Reguera, S., Moreno-Rueda, G. 2014. Bergmann's Rule rules body size in an ectotherm: heat conservation in a lizard along a 2200-metre elevational gradient. Journal of Evolutionary Biology, 27: 2820–2828

Zug G. R., L. J. Vitt y J. P. Caldwell. 2001. Herpetology: An introductory biology on amphibians and reptiles. Segunda edición. Academic Press, San Diego, California, E.E.U.U.

CAPITULO I

**Dimorfismo sexual y ecología térmica
de la lagartija vivípara *Sceloporus
mucronatus* (Squamata:
Phrynosomatidae) en dos poblaciones
de bosque de pino-encino**

I. RESUMEN

En lagartijas del género *Sceloporus*, se ha documentado que las poblaciones pueden diferir en su morfología y ecología térmica cuando habitan ambientes contrastantes. Aunque los individuos suelen mantener requisitos térmicos similares, las condiciones ambientales variables pueden conducir a la adopción de distintas estrategias para alcanzar temperaturas corporales óptimas. Sin embargo, en especies con distribución restringida, los estudios sobre estas variaciones aún son escasos. En este estudio se comparó la morfología y ecología térmica de dos poblaciones de la lagartija endémica del centro de México *Sceloporus mucronatus*: La Estanzuela (LE) y Canta Ranas (CR), ubicadas en el estado de Hidalgo, las cuales difieren en altitud y niveles de precipitación. Los resultados mostraron que los individuos de LE presentaron tallas corporales más pequeñas respecto a los de CR. No se encontró evidencia de dimorfismo sexual en tamaño (SSD), sin embargo, los machos presentaron dimensiones de cabeza y tibia superiores a las de las hembras. Las temperaturas corporales (T_c) fueron similares entre poblaciones, aunque se alcanzaron mediante diferentes estrategias: en LE predominó la tigmotermia, mientras que en Canta Ranas (CR) la heliotermia. Asimismo, se registraron T_c 's más bajas en las hembras durante la temporada de lluvias/de gestación. Estos hallazgos sugieren que *Sceloporus mucronatus* presenta una alta plasticidad en ciertos rasgos ecológicos, los cuales varían espacial y temporalmente. Además, la condición reproductiva parece modificar los requerimientos térmicos de las hembras posiblemente para favorecer un desarrollo embrionario más eficiente. No obstante, se recomienda realizar estudios adicionales que incluyan más poblaciones a lo largo de su distribución.

Palabras clave: ambiente, temporada reproductiva, morfometría, estacionalidad

II. INTRODUCCIÓN

El género *Sceloporus* representa un grupo de lagartijas muy diverso en América, en donde actualmente se reconocen poco más de 100 especies (Sites et al., 1992; Ramírez-Bautista et al., 2023). Esta diversidad se manifiesta en su amplia distribución geográfica, que abarca desde zonas costeras a nivel del mar hasta ecosistemas montañosos (Sites et al., 1992). Dentro de esta diversidad, existen especies de amplia distribución y otras con una distribución más restringida a determinada altitud y tipos de vegetación (Sites et al., 1992). Un caso destacado es el de la lagartija vivípara *Sceloporus grammicus*, una especie cuya distribución abarca desde el sur de Texas, E. U., hasta el sur de Oaxaca, México, y que se encuentra desde el nivel del mar hasta zonas altas de montaña, abarcando diversos tipos de vegetación a lo largo de su distribución (Smith y Taylor, 1966; Sites et al., 1992). En contraste, está la especie *Sceloporus mucronatus*, que se distribuye exclusivamente en el centro de México en zonas de montaña (Martínez-Méndez y Méndez-de la Cruz, 2007, Ramírez-Bautista et al., 2014).

Diversos estudios han documentado que las poblaciones de una misma especie pueden diferir significativamente en características ecológicas, morfológicas, fisiológicas y/o conductuales (Lemos-Espinal y Ballinger, 1995; Hernández-Salinas et al., 2010; Ramírez-Bautista et al., 2011; Leyte-Manrique, 2017; García-Rosales et al., 2025). Estas diferencias pueden surgir tanto por adaptación local (es decir, la fijación de variantes genéticas ventajosas en contextos ambientales específicos) como por plasticidad fenotípica, entendida como la capacidad de un organismo para modificar su fenotipo sin alterar su genotipo (Jetz et al., 2009; García-Rosales et al., 2017). En este contexto, es razonable esperar que poblaciones de una misma especie que se encuentran separadas geográficamente y expuestas a distintos tipos de vegetación o condiciones climáticas contrastantes presenten variaciones en diversos rasgos morfológicos, ecológicos y fisiológicos.

Por otra parte, las dimensiones corporales en las poblaciones de reptiles están influenciadas tanto por la selección natural como por la selección sexual. La selección natural favorece aquellas formas que mejoran la supervivencia frente a

desafíos ambientales, como la depredación o la eficiencia locomotora, mientras que la selección sexual puede intensificar las diferencias morfológicas, especialmente en especies con marcada territorialidad, donde los machos compiten por el acceso a hembras o recursos, lo que puede generar un dimorfismo sexual pronunciado (Cox et al., 2007; Jiménez-Arcos et al., 2017). Además, las tallas corporales de los individuos pueden variar de acuerdo con su distribución geográfica. En varias especies del género *Sceloporus* se ha descrito una relación negativa entre la altitud y la talla mínima a la madurez sexual, es decir, las poblaciones que habitan zonas bajas y cálidas tienden a presentar longitudes hocico-cloaca (LHC) mayores que aquellas distribuidas en zonas elevadas y frías (Lemos-Espinal y Ballinger, 1995; Ramírez-Bautista et al., 2011). Este patrón contrasta con la Regla de Bergmann, la cual se cumple en muchos mamíferos y otros vertebrados, donde los individuos de regiones frías tienden a ser más grandes y robustos para reducir la tasa de pérdida de calor (Ashton y Feldman, 2003; Blackburn y Hawkins, 2004). Sin embargo, en algunos grupos de lagartijas las tallas corporales más pequeñas pueden ser ventajosas en climas fríos, ya que permiten una tasa de calentamiento más rápida, facilitando el alcance de temperaturas corporales óptimas para actividades vitales como la depredación, el cortejo o la defensa territorial (Díaz de la Vega-Pérez et al., 2019; González-Morales et al., 2021).

Diversos estudios han demostrado que la temperatura corporal de las lagartijas puede aumentar o disminuir de acuerdo a la temperatura del ambiente (termorregulación pasiva o termoconformismo) o bien, se mantiene por encima de la temperatura del ambiente (termorregulación activa) (Pough et al., 2001), y a su vez pueden modular su temperatura corporal mediante una combinación de estrategias conductuales, como la selección de microhábitat o la altura de percha, y fisiológicas, como la heliatermia o la tigmotermia (Ramírez-Bautista y Benabib, 2001; Leyte-Manrique 2017; Nolasco-Hidalgo, 2025). En este contexto, la heliatermia implica la absorción directa de radiación solar, mientras que la tigmotermia se basa en la transferencia de calor por contacto con superficies calientes, como rocas o suelos insolados (Huey y Slatkin, 1978; Zug et al., 2001).

La dependencia de una estrategia u otra puede diferir en función de las condiciones ambientales locales (como la cobertura del dosel, cobertura de la sombra, o la temperatura del suelo) o bien debido a diferencias evolutivas históricas (Huey y Bennett, 1987; Woolrich-Piña *et al.*, 2006), en cuyo caso la estrategia predominante estaría genéticamente fijada. Alternativamente, es posible que la forma en que los individuos obtienen calor sea un rasgo fenotípicamente plástico, ajustable a corto plazo según el entorno térmico disponible con el objetivo de que los individuos obtengas temperaturas óptimas para desarrollar sus actividades (Lemos-Espinal *et al.*, 1997; Nolasco-Hidalgo, 2025).

En algunas especies de este género, se ha documentado que las hembras gestantes modifican su comportamiento térmico, seleccionando microhábitats con temperaturas más bajas o elevadas que les favorecen en la reproducción (Schwarzkopf y Shine, 1991; Woolrich-Piña *et al.*, 2006). Por lo tanto, la selección de microhábitats podría estar modulada tanto por factores bióticos, como por el estado reproductivo o las tallas de los individuos, y por factores abióticos, como la disponibilidad de radiación solar, características físicas del ambiente o temperaturas ambientales (Lemos-Espinal *et al.*, 1997; Woolrich-Piña *et al.*, 2006, Díaz de la Vega-Pérez *et al.*, 2019; García-Rosales *et al.*, 2025).

La comprensión de la ecología térmica y morfometría de *Sceloporus mucronatus* resulta fundamental para entender los mecanismos que le permiten adaptarse y mantener su éxito en ambientes con distintas características térmicas. Este conocimiento es particularmente relevante en el contexto actual de cambio climático acelerado, ya que permite predecir posibles respuestas y vulnerabilidades de las poblaciones ante variaciones en la temperatura ambiental. Además, los estudios morfométricos aportan información clave sobre la ecología funcional de la especie, al relacionar la forma corporal con aspectos como la locomoción, la termorregulación y la competencia intra e interespecífica. De igual manera, el análisis del dimorfismo sexual en tamaño y proporciones corporales contribuye a comprender la influencia de la selección sexual y las presiones ecológicas en la

diferenciación entre machos y hembras, lo que en conjunto proporciona una visión más completa de la biología y conservación de la especie.

Con base en lo anterior, en el presente estudio se compara la morfología y ecología térmica dos poblaciones de *S. mucronatus* distribuidas en hábitats con diferencias en cobertura de dosel y niveles de precipitación, con el objetivo de identificar diferencias y semejanzas en algunas características como talla, proporciones de cabeza y extremidades, estrategias de obtención de calor y temperatura corporal preferente. En este sentido, se espera que los individuos de ambientes más fríos y de mayor altitud presenten tallas corporales más pequeñas y que los machos presenten una mayor LHC y extremidades proporcionalmente más largas en comparación con las hembras, como resultado de adaptaciones a climas fríos y selección sexual, respectivamente (Lemos-Espinal y Ballinger, 1995; García-Rosales et al., 2025). También se predice que, durante la gestación (temporada de secas), las hembras modificarán su temperatura corporal en respuesta a la selección de microhábitats específicos, y que la temperatura del sustrato y del ambiente influirán de forma diferencial en la temperatura corporal obtenida por los individuos (Lemos-Espinal et al., 1997; García-Rosales et al., 2024).

III. MÉTODO

Sitios de estudio

Para este estudio, se eligieron dos poblaciones con las siguientes características: facilidad de acceso a la zona de muestreo (con el consentimiento de ejidatarios y locatarios); la población de esta especie en la localidad de muestreo, fue abundante y de fácil acceso (para un tamaño de muestra adecuado sin recapturas y evitar para muestrear sobre sitios peligrosos como peñascos), se presentan distintos en niveles de precipitación y elevación; las poblaciones presentaron barrera de aislamiento geográfico (en este caso, separados por zonas de agricultura, asentamientos humanos y topografía variada).

La Estanzuela, Mineral del Chico, Hidalgo

La Estanzuela (LE) es una comunidad del municipio de Mineral del Chico (Figura 1), se localiza a los 2,800 msnm (10° 10' 43.12" N, 98° 45' 40.70" O), su tipo de vegetación consta de bosque de coníferas (Rzedowski, 1978); las especies de pino y encino se componen de *Pinus teocote*, *P. greggii*, *Quercus crassifolia*, *Q. affinis* y *Q. laurina*. El municipio cuenta con una temperatura media anual de 15°C y una precipitación media de 1,605 mm (INAFED).

En el municipio existe una gran diversidad de animales, entre ellos reptiles como: *Sceloporus mucronatus*, *S. bicanthalis*, *S. grammicus*, *S. megalepidurus*, *S. spinosus*, *Abronia taeniata*, *Barisia imbricata*, *Phrynosoma orbiculare*, *Plestiodon lynxe*, *Conopsis lineata*, *Pitouphis deppei*, *Crotalus aquilus*, *Geophis mutitorques* y *G. semidoliatus* (Ramirez-Bautista et al., 2014) los cuales compiten por la disponibilidad de sitios de calidad térmica, presas y horarios de actividad.

Debido a la diversidad que presenta el Parque Nacional El Chico, éste se encuentra protegido como Reserva Nacional Forestal para evitar la explotación por parte de la minería (COACMA, 2002), lo que ayuda a la conservación del hábitat y de estas especies. El área de estudio se caracterizó por ser un sitio con dosel cerrado y con rocas medianas abundantes (máximo 70 cm de altura) y dispersas en una zona arbustiva rodeada de bosque de pino-encino.

Canta Ranas, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo

Canta Ranas (CR) es una comunidad que se ubica en el sur del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero (Figura 1), este asentamiento se encuentra a una altitud de 2550 msnm (19° 59' 0.05.27" N, 98° 21' 52.34" O), siendo una de las áreas más elevadas del municipio. Está situado en la Faja Volcánica Transmexicana, si bien, la vegetación varía en función de la altitud del municipio, el presente estudio ocurrió en la zona de mayor humedad y altitud del municipio, donde la vegetación se compone principalmente de especies de pino, oyamel, encino, cedro, ocote (INAFED, 2011; Vera-Ramírez, 2023).

Cuenta con una temperatura media anual de entre 10 y 15°C y una precipitación media que va de los 500 a 850 mm (INAFED, 2011), alberga reptiles como: *S. grammicus*, *S. bicanthalis*, *Barisia imbricata*, *Plestiodon lynxe*, *Thamnophis eques*, *Conopsis lineata* y *Crotalus aquilus* (observaciones en campo), los cuales se encontraron en el área de estudio compitiendo por recursos con *S. mucronatus*.

El área de estudio se localizaba dentro de una zona ecoturística poco visitada; sin embargo, se lograron observar restos de basura de campistas y cazadores, además de presenciar pastoreo de ovejas. Las características físicas del área de estudio se componen por una zona abierta rodeada de bosque de coníferas y zonas de cultivo, en donde hay dos jagüeyes temporales y varias rocas medianas dispersas (máximo 50 cm de altura).

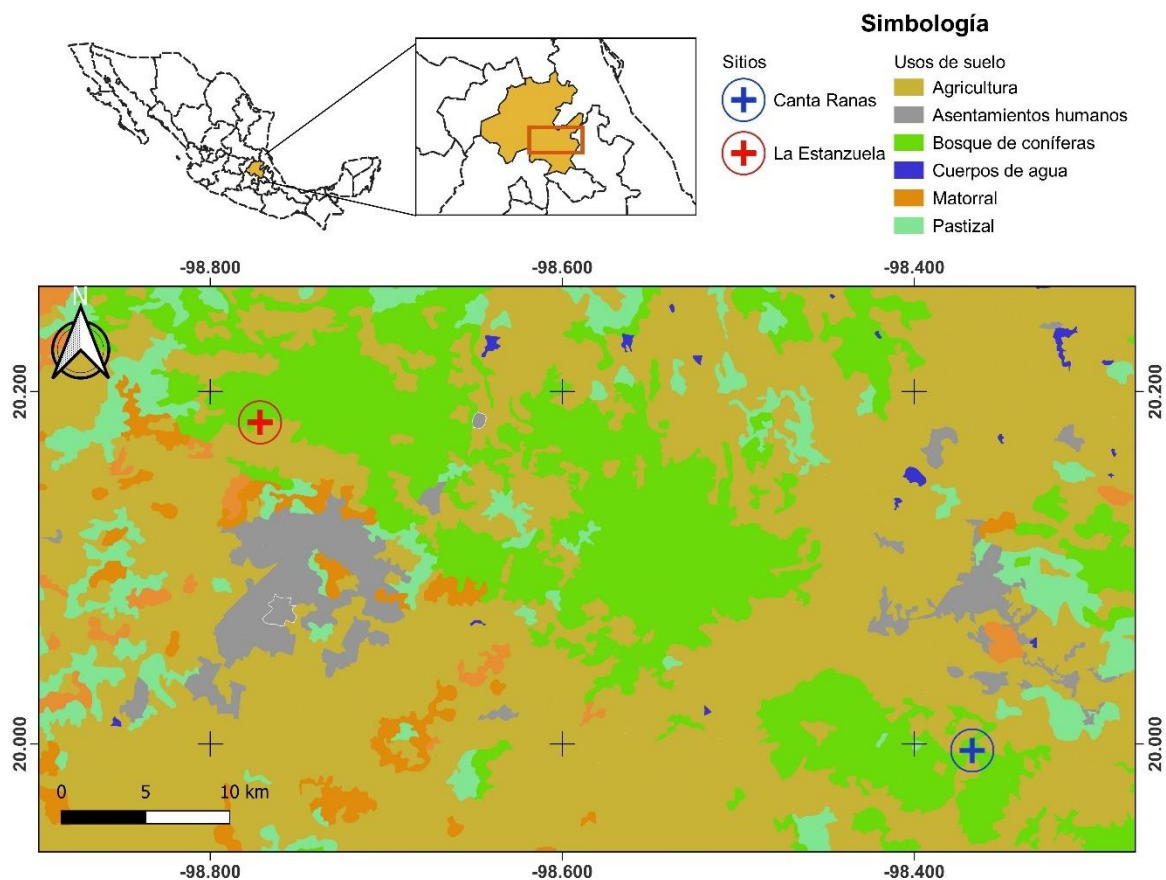


Figura 1. Sitios de estudio: La Estanzuela, ubicado en el municipio de Mineral del Chico, Hidalgo; y Canta Ranas, ubicado en el municipio de Santiago Tulantepec, Hidalgo.

Toma de datos

Para cada sitio de estudio, se planteó un muestreo mensual en temporada de lluvias (reproductiva) en el periodo agosto-octubre del 2023, y de secas (no reproductiva) durante febrero-abril del 2024, en cada muestreo, se estableció un cuadrante de aproximadamente 25 ha (500 x 500 m) donde realizaron recorridos de las 0800 a las 1400 horas con ayuda de 3 personas, con un esfuerzo total de 18 horas por muestreo, con la intención de recolectar al mayor número de lagartijas posibles (Casas-Andreu *et al.*, 1991).

Los individuos de *S. mucronatus* se capturaron directamente con la mano, los que se identificaron por presentar escamas dorsales quilladas y mucronadas, presencia de collar y, principalmente, por la presencia de dos hileras de escamas supraoculares bien definidas (Ramírez-Bautista *et al.*, 2014b), el sexo se determinó basándonos en la presencia de escamas postanales agrandadas en machos (Sites, 1992).

Inmediatamente después de la captura, se tomaron los datos de ecología térmica y, enseguida las lagartijas fueron guardadas en costales de tela rotulando con el número de individuo, población y sexo, para posteriormente obtener los datos de ecología térmica. Una vez tomados estos datos, para evitar recapturas, los individuos fueron marcados de forma temporal pintándoles con esmalte una pequeña marca en el dorso a la altura de las extremidades posteriores (Plummer y Ferner, 2012) y finalmente fueron liberados en la misma roca en donde se observaron perchando por primera vez.

Para la ecología térmica se registró la hora en la que se observó perchando al individuo, el sexo y las distintas temperaturas: la temperatura corporal (T_c ; vía cloacal) se obtuvo introduciendo la sonda de un termómetro de lectura rápida Extech TM100 con precisión 0.01 °C a través de la cloaca de los individuos (Figura 2) y la temperatura del sustrato (T_s) se obtuvo colocando el bulbo del termómetro en el sitio donde se le observó perchando a cada individuo. Para evitar que la radiación influyera en la temperatura registrada por el termómetro, se creó una sombra que cubriera la totalidad del termómetro y el bulbo. Por otra parte, se obtuvo la

temperatura ambiental (T_a) con un termohigrómetro Extech 44550 con precisión de 0.1 °C (Figura 2), el cual se sostuvo a una altura de un metro desde el suelo en el punto en donde fue vista la lagartija, y de igual manera que en la T_s , se creó sombra que cubriera la totalidad del termómetro (Ramírez-Bautista y Benabib, 2001).

Finalmente, para cada individuo, se registró la talla en milímetros (LHC, de la punta del hico al margen de la cloaca), con un calibrador digital con precisión 0.01 mm) así como el largo (LCa, de la punta del hocico a la base de la cabeza) y ancho (ACa, a la altura de los timpanos) de la cabeza, largo de la tibia (LTi, desde la articulación de la rodilla hasta el extremo distal del hueso), largo del antebrazo (LAn, desde el codo hasta la articulación de la muñeca) y largo de la cola (LCo; desde la cloaca hasta la punta de la cola, solo en los individuos que presentaban cola original y no cola regenerada), todas las mediciones se realizaron colocando a los individuos en posición ventral y utilizando las extremidades derechas. Se registró el peso en gramos (con una báscula marca Pesola TS632 de 100 g con precisión de 0.1 g), posteriormente, los individuos fueron encerrados en un costal de manta y almacenados en algún sitio seco, con sombra y temperatura ambiental moderada.



Figura 2. Obtención de datos de 1) temperatura corporal: introduciendo la sonda del termómetro digital en la cloaca de la lagartija, y 2) temperatura ambiental: mediante un termohigrómetro a una altura de 1 metro desde el suelo.

Análisis de datos

Los individuos en los que se demoró más de dos minutos entre la observación y la captura fueron excluidos de los análisis de ecología térmica, debido a que, durante la locomoción y agitación de los individuos, estos pueden cambiar su temperatura corporal (Díaz de la Vega-Pérez *et al.*, 2019). Los datos se analizaron bajo diferentes pruebas estadísticas de acuerdo a los objetivos. Se evaluó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk, debido a que no mostraban una distribución normal, se realizaron pruebas no paramétricas.

En el caso del dimorfismo sexual y comparaciones intepoblacionales, solo se tomaron en cuenta los individuos adultos ($LHC > 63$ mm; Ortega-León *et al.*, 2007). Para describir el grado de dimorfismo, en adultos se aplicó el índice de dimorfismo de tamaño (size dimorphism index; SDI) con la fórmula: (tamaño medio del sexo más grande/tamaño medio del sexo más pequeño) -1, en donde, un valor positivo indica que los machos son más grandes y un valor negativo indica que las hembras son más grandes (Lovich y Gibbons, 1992). Así mismo se obtuvieron las proporciones del LAn respecto a la LHC mediante la formula: LAn/LHC , esto mismo se aplicó para el ACa, LCa y LTi. Finalmente, se obtuvo el indicie de condición física (ICF) mediante la siguiente fórmula (Nikolsky, 1963):

$$ICF = (PT/LHC) \times 100$$

Donde, PT= peso de la lagartija y LHC= longitud hocico-cloaca

Posteriormente, mediante el software PAST 4.03 (Hammer *et al.*, 2001), los resultados se compararon entre sexos mediante pruebas de Mann-Whitney.

Para evaluar la influencia de la T_s y T_a en la T_c de los individuos, evitando el efecto que tiene la T_a en la T_s , se realizaron correlaciones parciales entre la T_c y la T_s (usando como covariables la T_a), y la T_c y T_a (usando como covariable la T_s) (García-Rosales *et al.*, 2024). Debido a que los datos no presentaron una distribución normal, las correlaciones parciales se realizaron con pruebas de Spearman con el paquete “ppcor” (Kim, 2015) en el software R 4.2.2 (R Core Team, 2022). Así mismo, mediante el software PAST 4.03 (Hammer *et al.*, 2001), se realizaron pruebas de Mann-Whitney para determinar diferencias de las temperaturas corporales y de microhábitat entre sexos, poblaciones y temporadas.

IV. RESULTADOS

Dimorfismo sexual y diferencias interpoblacionales en tallas

Se capturaron un total de 76 individuos adultos de los cuales 40 pertenecen a la población de La Estanzuela (LE) y 36 pertenecen a la población de Cantá Ranas (CR).

En la población de LE, los machos adultos (72.72 ± 8.13 mm, $n=21$) y hembras (71.91 ± 6.99 mm, $n=19$) presentaron una LHC similar ($U=192$, $P=0.849$), este mismo patrón ocurrió en la población de CR, en donde ambos sexos (machos= 82.88 ± 14.25 mm, $n=13$; hembras= 78.26 ± 13.8 mm, $n=24$) presentaron tallas similares ($U=137$, $P=0.692$). Sin embargo, el índice de dimorfismo de tamaño (SDI) mostró dimorfismo sexual ligeramente sesgado a los machos, tanto en LE ($SDI=0.011$) como en CR ($SDI=0.031$) (Tabla 1).

En LE, la proporción del LCa y LTi respecto a la LHC fue mayor en machos ($LCa=0.219 \pm 0.019$, $n=21$; $LTi=0.205 \pm 0.017$, $n=21$) que en hembras ($LCa=0.201 \pm 0.017$, $n=19$; $LTi=0.191 \pm 0.013$, $n=19$), mientras que, en CR, solo el ACa fue mayor en machos (0.231 ± 0.021 , $n=13$) que en hembras (0.216 ± 0.018 , $n=23$) (Tabla 1). Al comparar el ICF entre sexos, no se encontraron diferencias significativas en ninguna población ($P>0.05$, en ambos casos); sin embargo, se encontró que, en LE los machos presentaron un ICF menor en temporada de secas (17.92 ± 2.59 , $n=6$) que en lluvias (25.37 ± 5.62 , $n=15$; $U=12$, $P=0.011$).

Respecto a las diferencias interpoblacionales, los individuos de CR tuvieron una LHC mayor a los de LE, esto ocurrió tanto en machos ($U=78$, $P=0.039$) como en hembras ($U=109$, $P=0.005$). Sin embargo, al comparar las proporciones entre extremidades y LHC, e ICF (separados por temporada de lluvias y secas), solo se encontraron diferencias significativas en el ICF de hembras durante la temporada de secas, en donde en LE (21.11 ± 5.58 , $n=13$) tienen un ICF menor que en CR (32.87 ± 10.43 , $n=14$; $U=38$, $P=0.006$).

Tabla 1. Dimorfismo sexual en dos poblaciones de *Sceloporus mucronatus* distribuidas en el estado de Hidalgo. Se muestran los valores de índice de dimorfismo de tamaño (SDI) y comparaciones entre sexos (mediante pruebas de U de Mann-Whitney) de la longitud hocico-cloaca (LHC, mm), y las proporciones entre el largo de la cabeza (LCa), ancho de la cabeza (ACa), largo de antebrazo (LAn), largo de la tibia (LTi) y largo de la cola (LCo) respecto a la LHC. Se muestra la media y la desviación estándar ($\bar{x} \pm DE$). Los valores estadísticamente significativos están marcados con asterisco (*) y resaltados en negritas.

		La Estanzuela	Canta Ranas
SDI		0.011	0.031
LHC	Machos	72.72 \pm 8.13, n=21	82.88 \pm 14.25, n=13
	Hembras	71.91 \pm 6.99, n=19 U=192, P=0.849	78.26 \pm 13.8, n=23 U=137, P=0.692
LCa	Machos	0.219 \pm 0.019, n=21	0.202 \pm 0.029, n=13
	Hembras	0.201 \pm 0.017, n=19 U=99, P=0.006*	0.205 \pm 0.015, n=23 U=147, P=0.947
Aca	Machos	0.227 \pm 0.023, n=21	0.231 \pm 0.021, n=13
	Hembras	0.221 \pm 0.018, n=19 U=154, P=0.222	0.216 \pm 0.018, n=23 U=74, P=0.013*
LAn	Machos	0.174 \pm 0.019, n=21	0.184 \pm 0.012, n=13
	Hembras	0.169 \pm 0.015, n=19 U=147, P=0.157	0.175 \pm 0.023, n=23 U=113, P=0.235
LTi	Machos	0.205 \pm 0.017, n=21	0.202 \pm 0.016, n=13
	Hembras	0.191 \pm 0.013, n=19 U=95, P=0.004*	0.195 \pm 0.016, n=23 U=112, P=0.223
LCo	Machos	1.253 \pm 0.29, n=17	1.189 \pm 0.238, n=7
	Hembras	1.31 \pm 0.058, n=10 U=65, P=0.633	0.187 \pm 0.15, n=7 U=119, P=0.522

Ecología térmica

Se capturaron un total de 133 individuos (juveniles y adultos), de los cuales 62 pertenecen a LE (32 machos y 30 hembras) y 71 a CR (23 machos y 48 hembras). De forma general, la temperatura corporal fue superior a la temperatura del sustrato, donde los individuos se encontraban perchando. Respecto a la ecología térmica entre sexos, en LE los machos presentaron temperaturas corporales (T_c) superiores a las de las hembras ($U=312.5$, $P=0.018$), al separarlas

por temporadas estas diferencias solo se presentaron durante la temporada de secas ($U=26$, $P=0.01$; Tabla 2), también, durante la temporada de secas, las hembras presentaron T_c inferior en secas ($15.68\pm 5.1^\circ\text{C}$) que en lluvias ($P=0.744$; $U=15$, $P=0.045$). Por otra parte, se encontraron diferencias la temperatura del sustrato (T_s), en donde machos percharon sobre sitios más cálidos que las hembras ($U=315$, $P=0.02$), al separarlas por temporada, solo durante la temporada de secas en los machos ($23.05\pm 6.5^\circ\text{C}$) se registraron T_s superiores a las de las hembras ($19.83\pm 5.1^\circ\text{C}$), estas diferencias fueron marginalmente significativas ($U=46$, $P=0.046$). Respecto a la población de CR, no se encontraron diferencias en la T_c ni T_s entre sexos o temporadas (Tabla 2).

Durante temporada de secas, la T_s y T_c de hembras fue menor en LE que en CR ($T_c=U=7$, $P<0.001$; $T_s=U=23.5$, $P<0.001$; Tabla 2), sin embargo, durante la temporada de lluvias, no se encontraron diferencias entre poblaciones en la T_c ni T_s ($P>0.05$ en todos los casos);

Tabla 2. Comparación de temperaturas corporales (T_c) y temperaturas del sustrato (T_s) para cada temporada (lluvias y secas), población (LE=La Estanzuela, CR=Canta Ranas) y sexo (machos y hembras), se muestra la media y la desviación estándar ($\bar{x}\pm\text{DE}$). Los valores estadísticamente significativos están marcados con asterisco (*) y resaltados en negritas.

	Lluvias			Secas		
	LE	CR	Valor de P	LE	CR	Valor de P
T_c machos	24.85 ± 6.1	27.27 ± 2.4	$P=0.61$	23.05 ± 6.5	26.17 ± 6.3	$P=0.137$
T_c hembras	23.26 ± 8.2 $P=0.744$	23.48 ± 4.9 $P=0.164$	$P=0.746$	15.68 ± 5.1 $P=0.01^*$	26.88 ± 4.1 $P=0.782$	$P<0.001^*$
T_s machos	23.83 ± 5.9	25.9 ± 2.1	$P=0.632$	19.83 ± 5.1	23.83 ± 5	$P=0.174$
T_s hembras	22.13 ± 7.1 $P=0.868$	22.57 ± 3.6 $P=0.104$	$P=0.846$	15.45 ± 5 $P=0.046^*$	23.33 ± 6.3 $P=0.559$	$P<0.001^*$

La T_c de los individuos se correlacionó de forma positiva y significativa con la T_s tanto en LE ($r_s=0.63$, $P<0.001$; Figura 3) como en CR ($r_s=0.314$, $P=0.012$; Figura 4). Al hacer las correlaciones machos y hembras por separado, solo en LE la T_c se

mantiene correlacionada con la T_s , mientras que en CR la T_c se correlaciona con la T_a , además, no se encontró correlación entre la T_c y LHC en ninguna población ni sexo (Tabla 3).

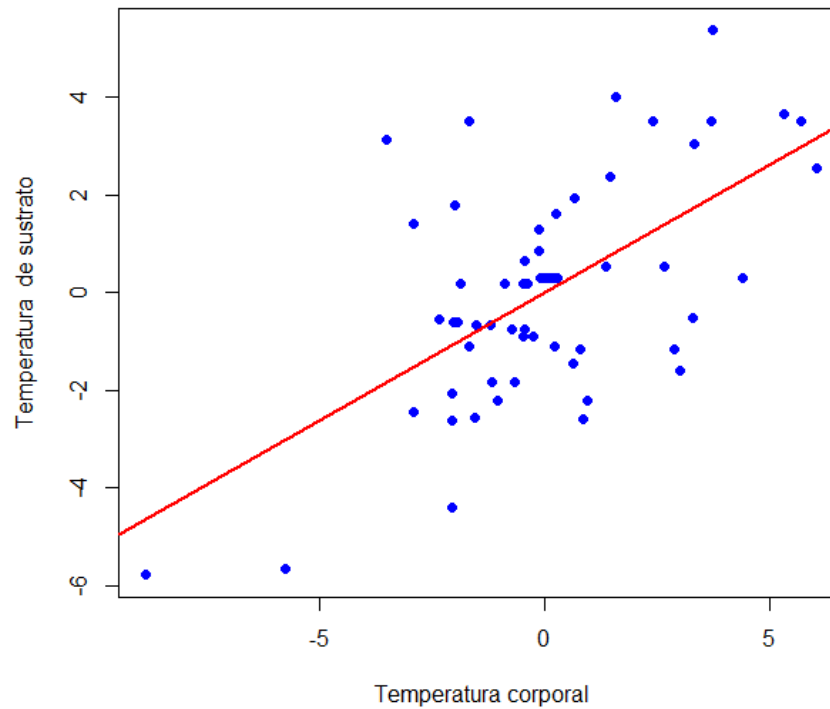


Figura 3. Correlación positiva y significativa ($r_s=0.63$, $P<0.001$) entre la temperatura corporal y la temperatura del sustrato del total de individuos de La Estanzuela, graficado mediante los residuos obtenidos en la correlación parcial ajustados a un modelo de correlación lineal.

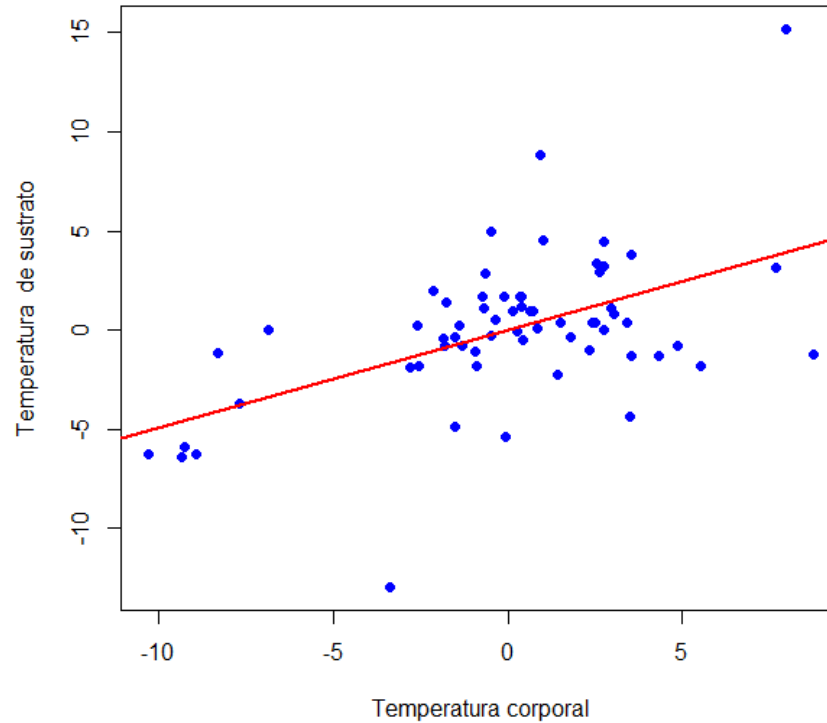


Figura 4. Correlación positiva y significativa ($r_s=0.314$, $P=0.012$) entre la temperatura corporal y la temperatura del sustrato del total de individuos de Canta Ranas graficado mediante los residuos obtenidos en la correlación parcial y ajustándolos a un modelo de correlación lineal.

Tabla 3. Correlaciones parciales entre la temperatura corporal (T_c) de los individuos vs la temperatura de sustrato (T_s), temperatura ambiental (T_a) y longitud hocico-cloaca (LHC) para cada sexo y población. Los valores estadísticamente significativos están marcados con asterisco (*) y resaltados en negritas.

			T _c vs T _s		T _c v T _a		T _c vs LHC		
			n	r _s	P	r _s	P	r	P
La Estanzuela	Machos	32	0.62	<0.001*		0.329	0.081	-0.029	0.873
	Hembras	30	0.61	<0.001*		0.347	0.07	-0.160	0.399
Canta Ranas	Machos	23	0.233	0.322		0.634	0.002*	0.020	0.929
	Hembras	48	0.26	0.1		0.473	0.001*	0.174	0.238

V. DISCUSIÓN

El dimorfismo sexual puede ser producto de variaciones en factores bióticos y abióticos, selección natural, divergencia de nicho o selección sexual, así como de la interacción entre estos factores, donde en conjunto moldean el grado y dirección del dimorfismo sexual para favorecer el éxito reproductivo y supervivencia (Ramírez-Bautista *et al.*, 2016; Jiménez-Arcos *et al.*, 2017).

Históricamente, en especies del género *Sceloporus* se ha reportado tres patrones de dimorfismo sexual, 1) ausencia de dimorfismo sexual en talla (LHC), 2) dimorfismo sexual sesgado a machos (mayor LHC en machos que hembras) o 3) dimorfismo sexual sesgado a hembras (mayor LHC en hembras que los machos) (Ramírez-Bautista *et al.*, 2013; Jiménez-Arcos *et al.*, 2017). Los resultados obtenidos señalan que, en ambas poblaciones, los machos fueron ligeramente más grandes que las hembras, sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Estos resultados son similares a los reportados por García-Rosales *et al.* (2024) en una población de bosque de coníferas en el estado de Hidalgo (cerca de LE); sin embargo, también anteriormente se ha reportado dimorfismo sexual en talla sesgado a machos en otras poblaciones (García-Rosales *et al.*, 2024; Toledo, 2005).

Es bien conocido que los machos pueden alcanzar una LHC superior a las hembras debido a la selección sexual, en donde los machos más grandes podrían ser los más exitosos al competir por hembras, mientras que, las hembras pueden alcanzar tallas superiores a los machos como una respuesta a la fecundidad (hipótesis de fecundidad; Cox *et al.*, 2003), ya que, las hembras de especies vivíparas necesitan un abdomen grande para el desarrollo placentario y retención de huevos (Jiménez-Arcos *et al.*, 2017), en este contexto, el grado de SDI podría estar representando la interacción de estos mecanismos y el grado con el que ambas fuerzas están actuando, en este caso, un dimorfismo sexual casi nulo.

De igual manera, se encontraron diferencias en las proporciones de la cabeza y las extremidades, siendo estas estructuras más grandes en los machos, un patrón consistente con lo reportado por García-Rosales *et al.* (2025). El dimorfismo en la

cabeza podría explicarse tanto por divergencia de nicho trófico, como sugieren Cruz-Elizalde *et al.* (2020, 2022), como por selección sexual, ya que machos con cabezas y mandíbulas más desarrolladas presentan una mayor inserción del músculo mandibular, lo que incrementa la fuerza de mordida y confiere ventaja en interacciones agonísticas o disputas territoriales. En cuanto a las extremidades, su mayor longitud podría representar una adaptación frente a una alta presión depredatoria, dado que *S. mucronatus* es altamente conspicua por su coloración, lo que aumenta su detectabilidad; extremidades más largas permitirían un escape más eficiente. En conjunto, estas diferencias morfológicas intraespecíficas en la cabeza y la tibia podrían reflejar divergencia de nicho o distintos requerimientos ambientales según el sexo (Hierlihy *et al.*, 2013; Cruz-Elizalde *et al.* 2020, 2022).

Por otra parte, la población de ligeramente mayor altitud presentó tallas corporales más pequeñas. Anteriormente se ha reportado un patrón de tallas en algunas especies de sceloporinos, en donde en zonas más elevadas y frías los individuos tienden a tener tallas corporales más pequeñas respecto a los de zonas más bajas (Lemos-Espinal y Ballinger, 1995; Ashton y Feldman, 2003; Ramírez-Bautista *et al.*, 2011), lo que es una respuesta a una tasa de crecimiento más lenta, además que las tallas pequeñas tienen una tasa de calentamiento más acelerada, lo que favorece en climas fríos, sin embargo, también les confiere una desventaja ya que también pierden calor de forma más acelerada (Díaz de la Vega-Pérez *et al.*, 2019)

En este contexto, se sugiere que el dimorfismo sexual en *S. mucronatus* podría ser un rasgo que presenta gran plasticidad, ya que podría presentarse solo en algunas poblaciones o solo en determinado momento (García-Rosales *et al.*, 2024, 2025), así como sucede con algunas otras especies de sceloporinos (Ramírez-Bautista *et al.*, 2016), además, factores ambientales como la temperatura, tipo de vegetación y nivel altitudinal, podrían estar determinando la talla mínima alcanzada en la madurez sexual en las distintas poblaciones (Ashton y Feldman, 2003; Ramírez-Bautista *et al.*, 2011).

Los factores ambientales no solo influyen en el dimorfismo sexual dentro y entre poblaciones, sino también en sus estrategias fisiológicas, como en la termorregulación. En ambas poblaciones, la T_c se correlacionó de forma positiva y significativa con la T_s , patrón similar a otros trabajos de esta y otras especies de sceloporinos (Bustos-Zagal et al., 2013; García-Rosales et al., 2024, Lemos-Espinal et al., 1997; Woolrich-Piña et al., 2006); en CR, al separar a los individuos por sexo, la T_c se correlaciona con la T_a y no con la T_s , además, en esta población la T_m está fuertemente relacionada con la T_a . Estas correlaciones sugieren que, en LE, la principal estrategia de obtención de calor es la tigmotermia (basándonos en que la T_c solo se correlaciona con la T_s), mientras que en CR, la obtención de calor es por heliotermia (basándonos en que la T_c se correlaciona con la T_s) (Woorrich-Piña et al., 2006), lo que a su vez puede relacionarse con la estructura del hábitat, en donde, en LE, la cobertura vegetal es mayor, por lo tanto los individuos pueden aprovechar los sustratos disponibles (rocas, troncos, suelo) para calentarse mediante contacto directo, favoreciendo la tigmotermia. Por el contrario, en CR, con áreas más abiertas, las lagartijas tienen mayor exposición directa a la radiación solar, lo que facilita la heliotermia como estrategia predominante de termorregulación.

Sin embargo, los factores que promueven la preferencia de estrategia de termorregulación y la ecología térmica de la especie aún son confusos, García-Rosales *et al.* (2024) encontraron que dos poblaciones, una con distribución en bosque de coníferas (2,705 msnm) y otra distribuida en bosque de coníferas, matorral xérico, pastizal y tierras de cultivo (2,515 msnm), presentan una estrategia de obtención de calor por medio de tigmotermia, por otra parte, Lemos-Espinal *et al.* (1997) reportan una población en área abierta de la sierra del Ajusco a 3,400 msnm (bosque de coníferas) donde se sugiere que la obtención de calor sucede por heliotermia; así mismo, Nolasco-Hidalgo (2025), en un experimento de jardín con individuos de una población distribuida en bosque de pino a 3,000 msnm, reporta a *S. mucronatus* como una especie auritérmica, parcialmente activa, con rangos de temperaturas corporales críticas de 6.12°C a 38.6°C y con índice de eficiencia termorregulatoria de 0.71 (termorregulador eficaz; véase Hertz et al, 1993).

En este escenario, se propone que *S. mucronatus* es una especie con la capacidad de termorregular de forma activa, además, puede obtener calor por tigmotermia o heliotermia, posiblemente como resultado de, 1) genes predominantes en cada población o 2) plasticidad fenotípica. En el primer escenario, los individuos de climas fríos o áreas cerradas podrían termorregular por tigmotermia aprovechando el calor del sustrato, e individuos de climas más calurosos o de áreas abiertas termorregular por heliotermia para aprovechar la radiación solar, en donde la estrategia utilizada es producto de la genética. En el segundo escenario, los individuos podrían alternar entre heliotermia o tigmotermia de acuerdo a las necesidades fisiológicas, no obstante, se ha reportado que el tipo de vegetación, el estado reproductivo, percha, tipo de microhábitat e interacciones inter e intraespecíficas influye en la ecología térmica (Adolph, 1990; Lemos-Espinal *et al.*, 1997; Andrews, 1998).

En cuanto a la variación entre T_c obtenida entre sexos y temporadas, los individuos presentaron una T_c superior a la T_s y T_a , por lo que se podría considerar un termorregulador activo, es decir, que mantiene su temperatura corporal constante, independientemente de las fluctuaciones térmicas del ambiente. Además, no se encontraron diferencias en estas temperaturas en la temporada de lluvias, sin embargo, en la temporada de secas, la T_c en hembras de LE fue inferior a la de los machos de la misma población y a la de las hembras de CR, esto debido a que se encontraban sobre sitios con T_s inferiores, posiblemente a que durante la gestación (que ocurre en temporada de secas), las hembras tengan otros requisitos térmicos para el óptimo desarrollo del embrión, además, se ha reportado que durante este periodo se cuidan lo más que pueden y se mantienen refugiadas, mientras que los machos son los que se encuentran más activos en su territorio, ocupando perchas más altas que las hembras, además de que posiblemente tengan un ámbito hogareño más amplio (Días y Rocha, 2004; Kerr y Bull, 2004; Márquez *et al.*, 2009; Hernández-Salinas *et al.*, 2010); por lo que, de acuerdo a las necesidades térmicas y el nivel de actividad de los individuos, estos pueden presentar variaciones en las temperaturas corporales obtenidas (Adolph, 1990).

VI. CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio no mostraron dimorfismo sexual en tamaño (SSD), sin embargo, se sugieren que este rasgo podría presentar gran plasticidad, por lo que no todas las poblaciones necesariamente exhiben SSD y que este podría manifestarse únicamente en determinadas temporadas del año. Asimismo, se observa un patrón consistente con otros sceloporinos y especies de lagartijas, en el que la talla de los individuos podría disminuir en sitios de mayor altitud y niveles de precipitación; es decir, en poblaciones de zonas frías y lluviosas de montaña los individuos suelen ser más pequeños en comparación con aquellos que habitan en áreas de menor altitud y relativamente más secos.

Por otra parte, se sugiere que la especie estudiada podría emplear tanto heliotermia como tigmotermia para termorregular, dependiendo de las condiciones ambientales o a la genética predominante en cada población. Además, durante la temporada seca (periodo que coincide con la gestación) las hembras presentan temperaturas corporales más bajas que en la temporada de lluvias, lo que puede deberse a una menor actividad y a requerimientos térmicos específicos asociados al estado reproductivo.

Para conocer si los mecanismos de termorregulación tienen variación geográfica, es necesario realizar experimentos de jardín con individuos de distintas poblaciones a lo largo de su distribución, especialmente con poblaciones aún no estudiadas, como las distribuidas en Tlaxcala y Veracruz, y evaluar de forma experimental la obtención de calor de cada talla, sexo, temporada y población.

VII. LITERATURA CITADA

- Adolph, S. C. 1990. Influence of behavioral thermoregulation on microhabitat use by two *Sceloporus* lizards. *Ecology*, 71: 315-327
- Andrews RM. 1998. Geographic variation in field body temperature of *Sceloporus* lizards. *J Therm Biol.* 23:329–334.
- Ashton, K. G. y Feldman, C. R. 2003. Bergmann's rule in nonavian reptiles: turtles follow it, lizards and snakes reverse it. *Evolution*, 57:1151-1163.
- Blackburn, T. M., & Hawkins, B. A. 2004. Bergmann's rule and the mammal fauna of northern North America. *Ecography*, 27: 715-724.
- Bogert, C. M. 1949. Thermoregulation in reptiles, a factor in evolution. *Evolution*, 3: 195-211.
- Bustos-Zagal, M. G., Manjarrez, J. y Franco, C. R. 2013. Uso de microhábitat y termorregulación en *Sceloporus horridus horridus* (Wiegman 1939) (Sauria: Phrynosomatidae). *Acta Zoológica Mexicana*, 29: 153-163.
- Casas-Andreu, G., López, V. y Ramírez-Bautista, A. 1991. Cómo hacer una colección de anfibios y reptiles. Cuadernos del instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- COACMA. 2002. Manifestación de impacto ambiental modalidad regional de proyectos forestales Fraccionamiento campestre “El Oyamel” (Sierra el Ocotil Mineral del Chico, Hgo.). SEMARNAT. Obtenido de: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/hgo/estudios/2002/13H12002FD012.pdf>
- Cowles, R. B. y Bogert, C. M. 1944. A preliminary study of the thermal requirements of desert reptiles. *Bulletin of the AMNH*; v. 83, article 5.
- Cox, R. M., Skelly, S. L. y John-Alder, H. B. 2003. A comparative test of adaptive hypotheses for sexual size dimorphism in lizards. *Evolution*, 57: 1653-1669.
- Cruz-Elizalde, R., Ramírez-Bautista, A., Lozano, A., Velasco, J. A., Octavio-Aguilar, P., & Berriozabal-Islas, C. 2022. Variation in size and shape sexual

- dimorphism in the *Sceloporus scalaris* species group (Squamata: Phrynosomatidae) from the Transvolcanic Belt of Mexico. *Biological Journal of the Linnean Society*, 135: 499-517.
- Cruz-Elizalde, R., Ramírez-Bautista, A., Pacheco, L. F. R., Lozano, A., & Rodríguez-Romero, F. D. J. 2020. Sexual dimorphism in size and shape among populations of the lizard *Sceloporus variabilis* (Squamata: Phrynosomatidae). *Zoology*, 140: 125781.
- Días, E. J. R. y Rocha, C. F. D. 2004. Thermal ecology, activity patterns, and microhabitat use by two sympatric whiptail lizards (*Cnemidophorus abietensis* and *Cnemidophorus ocellifer*) from northeastern Brazil. *Journal of Herpetology*, 38: 586-588.
- Díaz de la Vega-Pérez, A. H., Barrios-Montiel, R., Jiménez-Arcos, V. H., Bautista, A. y Bastiaans, E. 2019. High-mountain altitudinal gradient influences thermal ecology of the Mesquite Lizard (*Sceloporus grammicus*). *Canadian Journal of Zoology*, 97: 659-668.
- García-Rosales, A., Ramírez-Bautista, A., Stephenson, B. P., Meza-Lázaro, R. N., & de Oca, A. N. M. 2017. Comparative morphology and genetics of two populations of spiny lizards (genus *Sceloporus*) from Central Mexico. *Zoologischer Anzeiger*, 267: 21-30.
- García-Rosales, A., Zavala-Hurtado, J. A., Armella-Villalpando, M. A., Díaz-Marín, C. A. y Ramírez-Bautista, A. 2024. Intraspecific variation in morphology and thermal ecology of the cleft lizard *Sceloporus mucronatus* (Squamata Phrynosomatidae): effect of habitat and sex. *Ethology Ecology and Evolution*, 36: 546-571.
- García-Rosales, A., Zavala-Hurtado, J. A., Armella-Villalpando, M. A., Ramírez-Bautista, A. y Martínez-Coronel, M. 2025. Spatio-temporal evaluation of some morphological traits of the viviparous lizard *Sceloporus mucronatus* (Squamata: Phrynosomatidae), a species with a high risk of extinction. *Ichthyology & Herpetology*, 113: 263-273.

- González-Morales, J. C., Rivera-Rea, J., Moreno-Rueda, G., Bastiaans, E., Díaz-Albiter, H., Díaz de la Vega-Pérez, A. H. y Fajardo, V. 2021. To be small and dark is advantageous for gaining heat in mezquite lizards, *Sceloporus grammicus* (Squamata: Phrynosomatidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 132: 93-103.
- Hammer, O., Harper, D. T. A. y Ryan, P. D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* 4: 1-9.
- Hernández-Salinas, U., Ramírez-Bautista, A., Leyte-Manrique, A. y Smith, G.R. 2010. Reproduction and sexual dimorphism in two populations of *Sceloporus grammicus* (Sauria: Phrynosomatidae) from Hidalgo, Mexico. *Herpetologica*, 66: 12–22.
- Hertz, P. E., Huey, R. B. y Stevenson, R. D. 1993. Evaluating temperature regulation by field-active ectotherms: the fallacy of the inappropriate question. *The American Naturalist*, 142: 796-818.
- Hierlihy, C. A., Garcia-Collazo, R., Chavez Tapia, C. B., & Mallory, F. F. 2013. Sexual dimorphism in the lizard *Sceloporus siniferus*: support for the intraspecific niche divergence and sexual selection hypotheses. *Salamandra*, 49: 1-6.
- Huey R. B. & A. F. Bennett. 1987. Phylogenetic studies of coadaptation: Preferred temperatures versus optimal performance temperatures of lizards. *Evolution* 41: 1098- 1115.
- Huey, R. B., y Slatkin, M. 1976. Cost and benefits of lizard thermoregulation. *The Quarterly review of biology*, 51: 363-384.
- INAFED. 2011. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: Los municipios del estado. Secretaría de gobernación. Obtenido de: <http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Santiago-Tulanpetec-Enciclopedia-De-Los-Municipios.pdf>

- INAFED. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: Los municipios del estado. Secretaría de gobernación. Obtenido de:
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM13hidalgo/index.html>
- Jetz, W., Ashton, K.G., La Sorte, F.A., 2009. Phenotypic population divergence in terrestrial vertebrates at macro scale. *Ecol. Lett.* 12, 1137–1146.
- Jiménez-Arcos, V. H., Sanabria-Urbán, S. y Cueva del Castillo, R. 2017. The interplay between natural and sexual selection in the evolution of sexual size dimorphism in *Sceloporus* lizards (Squamata: Phrynosomatidae). *Ecology and Evolution*, 7: 905-917.
- Kerr, G. D. y Bull, C. M. 2004. Microhabitat use by the scincid lizard *Tiliqua rugosa*: Exploiting natural temperature gradients beneath plant canopies. *Journal of Herpetology*, 38: 536-545.
- Kim, S. 2015. Ppcor: Partial and Semi-Partial (Part) Correlation. R package
- Lemos-Espinal JA, Ballinger RE, Sarabia SS y Smith GR. 1997. Thermal ecology of the lizard *Sceloporus mucronatus mucronatus* in Sierra Del Ajusco, Mexico. *Southwest Nat.* 42:344–347.
- Lemos-Espinal, J. A. y Ballinger, R. E. 1995. Ecology of growth of the high altitude lizard *Sceloporus grammicus* on the eastern slope of Iztaccihuatl Volcano, Puebla, México. *Transactions of the Nebraska Academy of Sciences* 22: 77-85.
- Leyte-Manrique, A., Hernández-Salinas, U., Ramírez-Bautista, A., Mata-Silva, V. y Marshall, J. C. 2017. Habitat use in eight populations of *Sceloporus grammicus* (Squamata: Phrynosomatidae) from the Mexican Plateau. *Integrative Zoology*, 12:198-210.
- Lovich, J. E. y Gibbons, J. W. 1992. A review of techniques for quantifying sexual size dimorphism. *Growth Development and Aging*, 56: 269-269.
- Márquez, B. C., Márquez. R. L. R., Rea, P.S. y Márquez, R. J. 2009. Demografía de la población de *Anolis aquaticus* (Sauria Polychrotidae) de la quebrada La

- Palma, Puriscal, Costa Rica. Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas 30: 62-77.
- Nikolsky, G. U. 1963. The ecology of fishes. (translated from Russian by L. Birkett) Academic Press, New York.
- Nolasco-Hidalgo. 2025. Eficiencia termorregulatoria en la lagartija Espinosa de grieta *Sceloporus mucronatus* (Phrynosomatidae) en Ixtacamaxtitlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortega-León, A. M., Smith, E. R., Zúñiga-Vega, J. J y Méndez-de la Cruz, F. R. 2007. Growth and demography of one population of the lizard *Sceloporus mucronatus mucronatus*. Western North American Naturalist, 67: 492-502.
- Plummer, M. V. y Ferner, J. W. 2012. Marking reptiles. Reptile biodiversity: standard methods for inventory and monitoring, 143-150.
- Pough F. H., R. M. Andrews, J. E. Cadle, M. L. Crump, A. H. Savitzky y K. D. Wells. 2001. Herpetology. Segunda edición. Prentice Hall, New Jersey, E.E.U.U.
- R Core Team. 2022. R foundation for statistical computing. Chin J Hepatol, 30, 9-20.
- Ramírez-Bautista A, Hernández-Salinas U, Cruz-Elizalde R, Lozano A y Rodríguez-Romero FDJ. 2016. Sexual dimorphism and reproductive traits over time in *Sceloporus aeneus* (Squamata: Phrynosomatidae), based on a population in the Transmexican Volcanic Belt, Mexico. Salamandra. 52:197–203.
- Ramírez-Bautista A, Smith GR, Leyte-Manrique A. y Hernández-Salinas U. 2013. No sexual size-dimorphism in the eastern spiny lizard, *Sceloporus spinosus* from Guadalcázar, San Luis Potosi, Mexico. Southwest Nat. 58:505–508.
- Ramírez-Bautista, A. y Benabib, M. 2001. Perch height of the arboreal lizard *Anolis nebulosus* (Sauria: Polychrotidae) from a tropical dry forest of México: Effect of the reproductive season. Copeia, 2001: 187–193.

- Ramírez-Bautista, A., Hernández-Salinas, U., Cruz-Elizalde, R., Berriozabal-Islas, C., Lara-Tufiño, D., Mayer-Goyenechea, I., G. y Castillo-Cerón, J. M. 2014. Los anfibios y reptiles de Hidalgo, México: Diversidad, biogeografía y conservación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.
- Ramírez-Bautista, A., Hernández-Salinas, U., Mendoza-Quijano, F., Cruz-Elizalde, R., Stephenson, B. P., Vite-Silva, V. D. y Leyte-Manrique, A. 2010. Lista anotada de los anfibios y reptiles del estado de Hidalgo, México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.
- Ramírez-Bautista, A., Leyte-Manrique, A., Marshall, J. C. y Smith, G. R. 2011. Effects of elevation on litter-size variation among lizard populations in the *Sceloporus grammicus* complex (Phrynosomatidae) in Mexico. *Western North American Naturalist*, 71: 215-221.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa.
- Schwarzkopf L. y R. Shine. 1991. Thermal biology of reproduction in viviparous skinks, *Eulamprus tympanum*: why do gravid females bask more? *Oecologia* 88: 562-569.
- Sites Jr., J. W., Archie, J. W., Cole, C. J. y Flores-Villela, O. 1992. A review of phylogenetic hypotheses for lizards of the genus *Sceloporus* (Phrynosomatidae): implications for ecological and evolutionary studies. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 213: 1-110.
- Toledo, A. 2005. Variación morfométrica de dos poblaciones de *Sceloporus mucronatus mucronatus* Cope 1885 (Squamata: Phrynosomatidae) de ambientes contrastantes. Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana, México.
- Vera-Ramírez, F. D. 2023. Estimación de la erosión hídrica de Santiago Tulantepec a través de la EUPSR integrada a SIG. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

Woolrich-Piña, G. A., Lemos-Espinal, J. A., Oliver-López, L., Calderón-Méndez, M. E., González-Espinoza, J. E., Correa-Sánchez, F. y Montoya-Ayala, R. 2006. Ecología térmica de una población de la lagartija *Sceloporus grammicus* (Iguanidae: Phrynosomatinae) que ocurre en la zona centro-oriental de la Ciudad de México. Acta Zoológica Mexicana, 22: 137-150.

CAPITULO II

Variación espacial y estacional en la carga ectoparasitaria y coloración de la lagartija *Sceloporus mucronatus* (Squamata: Phrynosomatidae)

I. RESUMEN

El parasitismo en lagartijas y otros reptiles es muy común, si bien se ha reportado diversidad de helmintos parasitando una gran diversidad de especies de reptiles, en el caso de los ácaros es diferente, ya que aún se desconocen qué especies de ácaros están asociados a gran número de especies de lagartijas y qué factores ambientales y propios del hospedero modulan las cargas ectoparasitarias. En el presente trabajo se compara la intensidad de ácaros en dos poblaciones de la lagartija *Sceloporus mucronatus* y se evalúa que factores modulan los cambios en coloración y carga ectoparasitaria. El trabajo en campo se llevó a cabo en La Estanzuela, Mineral del Chico, Hidalgo y Canta Ranas, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo durante la temporada de lluvias/reproductiva (agosto-octubre 2023) y secas/no reproductiva (febrero-abril 2024). Se registro por primera vez en estas poblaciones de *S. mucronatus* a las especies de ácaros *Eutrombicula alfreddugesi*, *Geckobiella texana* y *G. pelaezi* como ectoparásitos de esta especie de lagartija. La carga ectoparasitaria fue mayor en las extremidades posteriores, el cuello y la cola, además la cantidad de ácaros alojados se correlacionó positivamente con la longitud hocico-cloaca, índice de condición física brillo de la coloración dorsal y negativamente con el brillo de la coloración de la gula; además, factores como estado de la cola (regenerada o no regenerada), población y temporada modularon la carga parasitaria. Así también, en machos, la tonalidad de coloración ventral fue diferencial entre temporadas, y en hembras, la tonalidad de coloración ventral y dorsal fue diferente entre poblaciones. Estos resultados sugieren que la carga parasitaria y la expresión de la coloración están moduladas por factores ambientales y propios del individuo, de modo que aquellos de mayor talla y con colas en regeneración presentan mayores infestaciones, por otra parte, durante la etapa reproductiva, los machos no solo son más susceptibles a los ácaros, sino que también adquieren una coloración ventral más conspicua.

Palabras clave: coevolución, ácaro-lagartija, estacionalidad, temporada reproductiva

II. INTRODUCCIÓN

Los reptiles son hospederos de una amplia diversidad de parásitos, entre los que se incluyen helmintos, protistas, y artrópodos los cuales pueden influir de manera significativa en su ecología, fisiología y supervivencia (Paredes-León *et al.*, 2008; Argaez *et al.*, 2018; Castillo *et al.*, 2022; Rivera-Rea *et al.*, 2024). Dentro de los ectoparásitos asociados a las especies de lagartijas y otros reptiles, los ácaros representan un grupo de especial relevancia, ya que, además de alimentarse de sangre o fluidos tisulares, pueden actuar como vectores de patógenos y comprometer seriamente la salud de los individuos parasitados (Zapata, 2012; Mendoza-Roldan *et al.*, 2021). Por ello, el estudio de estos organismos resulta fundamental para comprender las interacciones hospedero–parásito en reptiles y sus implicaciones en la conservación y manejo de estas especies.

En México se han registrado aproximadamente 3,093 especies de ácaros, lo que representa el 5% de la diversidad mundial (Ponce-Saavedra *et al.*, 2023). No obstante, esta cifra es menor a la esperada si se compara con la diversidad de otros grupos animales en el país, por lo que, se estima que la riqueza acarológica real podría ser mucho mayor (Pérez *et al.*, 2014). Así mismo, aún se siguen describiendo nuevas especies en distintas regiones de México y el mundo, dando como resultado que la clasificación taxonómica y reconstrucción de su historia evolutiva permanezca en constante revisión (Liu *et al.*, 2013, 2016; Paredes-León y Guzmán-Cornejo, 2015; Magowski *et al.*, 2025).

La relación entre ácaros y reptiles se remonta a unos 225 millones de años (Hoogstraal y Kim, 1985), lo que ha favorecido un notable proceso de coevolución. Los hospederos, por un lado, han desarrollado diversas estrategias para reducir el daño o evitar ser parasitado (Poulin, 1996); mientras que los ácaros, por el otro, han evolucionado adaptaciones morfológicas, conductuales y reproductivas que les permiten evadir las defensas físicas e inmunológicas del hospedero y establecer infecciones exitosas (Zapata, 2012).

Entre las principales defensas de los reptiles frente a los ectoparásitos destacan la muda constante y engrosamiento de piel, un sistema inmune eficiente

y conductas de limpieza. Una de las adaptaciones más notables es la presencia de los llamados “bolsillos de ácaros”, estructuras cutáneas formadas por pliegues de piel más gruesa y con escamas diminutas, localizadas en regiones como la nuca, las axilas, la ingle o la zona postfemoral. Estas cavidades, presentes en varios grupos de lagartijas como *Sceloporus*, pueden albergar más de 100 ácaros y, aunque su presencia pueda parecer perjudicial, cumplen un papel protector al concentrar a los parásitos en áreas específicas y evitar que se dispersen hacia zonas más comprometedoras como los ojos, la nariz o los tímpanos; sin embargo, aún se discute si los bolsillos de ácaros surgieron con este fin o si los ácaros se adaptaron a vivir en estas estructuras (Arnold, 1986; García-De la Peña *et al.*, 2004).

A pesar de la gran cantidad de casos documentados de ácaros parásitos en reptiles, todavía se desconoce mucho acerca de los riesgos que representan para las lagartijas. Se sabe, por ejemplo, que infestaciones masivas pueden ocasionar lesiones cutáneas que favorecen infecciones secundarias por bacterias y virus (García-Zendejas, 2013). También se ha reportado que altas cargas parasitarias pueden inducir pérdida de apetito, disminución en la tasa de crecimiento, reducción en la actividad, e incluso, alteraciones en la coloración, un rasgo que podría afectar el éxito reproductivo (García-De la Peña *et al.*, 2010). Sin embargo, aún faltan estudios que aborden aspectos como la estacionalidad, el tiempo de adherencia y el nicho ecológico de muchas especies de ácaros.

Así mismo, una de las principales incógnitas es identificar los factores que promueven cargas parasitarias diferenciales entre especies, temporadas y poblaciones. En el caso de los *Sceloporus*, algunas especies como *S. grammicus* presentan infestaciones relativamente bajas (intensidad promedio < 20, Díaz-Marín, 2024), mientras que, en otras, como *S. mucronatus*, se han registrado infestaciones de hasta 868 ácaros en un solo individuo (intensidad promedio = 86.3, Pacheco-Coronel, 2006). Además de las diferencias interespecíficas, existen factores individuales que pueden influir en la intensidad parasitaria, tales como la eficiencia del sistema inmune, la extensión del ámbito hogareño, el tipo de escutelación y la talla corporal, así individuos inmunocomprometidos, con escamas que permiten fácil

acceso a la piel, de mayor tamaño corporal, de amplio ámbito hogareño y que socializan con frecuencia con otros congéneres, suelen ser más susceptibles a altas cargas de ácaros (Sasa, 1991; Klukowski, 2004; Rubio-Carrasco, 2007 Espinoza-Carniglia *et al.*, 2015; 2016).

Esta tendencia ha sido confirmada en algunas especies, donde los individuos de mayor talla presentan más ectoparásitos, siendo los machos los que usualmente suelen tener mayor cantidad de ácaros que las hembras (García-De la Peña *et al.*, 2004), lo que podría estar relacionado con los altos niveles de testosterona en machos durante la temporada reproductiva, hormona que tiende a suprimir la respuesta inmune y a incrementar la actividad locomotora y territorial, lo que aumenta la susceptibilidad a adquirir parásitos (Folstad y Karter, 1992; Cox *et al.*, 2008). Por otro lado, están los factores ambientales que desempeñan un papel importante, ya que características como el tipo de vegetación, el nivel de humedad o la estacionalidad influyen en la intensidad de los ectoparásitos (Rubio-Carrasco, 2007). A su vez, la estacionalidad está vinculada con la coloración de los individuos, dado que durante la época reproductiva los machos adquieren colores más vistosos para atraer a las hembras (Argaez *et al.*, 2021).

Sceloporus mucronatus es una lagartija vivípara que habita en las zonas montañosas del centro de México; su cortejo y apareamiento ocurren durante la temporada otoñal, mientras que los nacimientos tienen lugar en primavera (Méndez-de la Cruz y Villagrán, 1983; Ramírez-Bautista *et al.*, 2014). Se ha reportado que esta especie puede soportar altas cargas ectoparasitarias (Pacheco-Coronel, 2006); sin embargo, aún se conoce qué especies de ácaros la parasitan y qué factores promueven la infestación. El estudio del ectoparasitismo en lagartijas resulta de gran relevancia, ya que las infestaciones pueden causar lesiones, ocasionando infecciones por virus o/o bacterias, además de comprometer la salud del hospedero en algunos otros aspectos como cambios en la coloración, pérdida de apetito, disminución en la tasa de crecimiento, reducción en la actividad o causar lesiones (García-De la Peña *et al.*, 2010; García-Zendejas, 2013), además, los análisis comparativos entre poblaciones, temporadas y sexos permiten comprender cómo

las condiciones ambientales y el ciclo reproductivo modulan la intensidad y prevalencia del parasitismo.

En este contexto, es fundamental identificar los factores ambientales y biológicos que se asocian con el ectoparasitismo, ya que su estudio, integrado con la morfología de las lagartijas, ofrece una visión más amplia sobre los mecanismos ecológicos y evolutivos que influyen en la dinámica hospedero–parásito en *S. mucronatus*. Por lo que, en este trabajo se compara la carga ectoparasitaria entre dos poblaciones (La Estanzuela y Canta Ranas) y temporadas (lluvias/reproductiva y secas/no reproductiva), se identifican taxonómicamente las especies de ácaros que las parasitan y se evalúan los factores que promueven los cambios tanto en la abundancia de ácaros como en la coloración de los individuos.

Se espera que machos y hembras tengan distintos niveles de infestación hembras, que la mayor abundancia de ácaros se presente en la región del cuello, particularmente en los “bolsillos de ácaros”, donde podrían encontrarse especies de pterigosomátidos y trombicúlidos (García-De la Peña *et al.*, 2004). Asimismo, se plantea que la carga parasitaria esté modulada por factores como población, temporada, sexo y longitud hocico–cloaca (LHC), índice de condición física (ICF) y estado de la cola (regenerada u original) (Rubio-Carrasco, 2007; García-De la Peña *et al.*, 2010; Kuo *et al.*, 2013) además de que la coloración de los individuos varíe diferencialmente entre temporadas y poblaciones (Argaez *et al.*, 2021; Rivera-Rea *et al.*, 2024).

III. MÉTODO

Sitios de estudio

El trabajo en campo se realizó en dos localidades: La Estanzuela, Mineral del Chico (LE; 10°10'43.12"N, 98°45'40.70"O) y Canta Ranas Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero (CR; 19° 59' 0.05.27" N, 98° 21' 52.34" O). La localidad de LE se localiza a 2,800 msnm y su vegetación se compone de bosque de pino y pino-encino (Rzedowski, 1978), además cuenta con una temperatura ambiental media anual de

15°C y una precipitación media de 1,605 mm (INAFED). El área de estudio se caracterizó por un dosel cerrado y abundantes rocas medianas de hasta 70 centímetros de altura, distribuidas aleatoriamente en una zona arbustiva rodeada por bosque de pino-encino. La localidad de CR se localiza a 2,600 msnm y una vegetación que se compone de bosque de coníferas y zonas de cultivo, cuenta con una temperatura ambiental de entre 10 y 15°C y una precipitación media que va de los 500 a 850 mm (INAFED, 2011; Vera-Ramírez, 2023). Las características físicas del área de estudio consisten en una zona abierta, rodeada por bosque de coníferas y áreas de cultivo, que cuenta con dos jagüeyes temporales y varias rocas medianas de hasta 50 centímetros de altura distribuidas de manera aleatoria.

Trabajo de campo

En cada sitio de estudio se efectuó un muestreo mensual durante la temporada de lluvias, correspondiente a la etapa reproductiva, entre agosto y octubre de 2023, y en la temporada seca, considerada no reproductiva, de febrero a abril de 2024. En cada muestreo se realizaron recorridos de las 0800 a las 1400 hrs con el objetivo de capturar el mayor número posible de lagartijas (Casas-Andreu et al. 1991)

Los individuos de *S. mucronatus* fueron capturados directamente con la mano, para cada uno se registró su sexo, basándose en la presencia de escamas postanales agrandadas en los machos (Sites, 1992), longitud hocico-cloaca (LHC, con un calibrador digital con precisión 0.01 mm), el peso en gramos (con una báscula marca Pesola TS632 de 100 g con precisión de 0.1 g) y se les asignó una categoría de edad basándonos en su LHC (juveniles ≤ 63 ; adultos > 63 mm; Ortega-León et al., 2007). Además, se anotó si cada individuo presentaba cola original o regenerada, considerando que las colas en regeneración muestran un color y forma de escamas diferente al de las colas originales, y cuando aún no se regenera totalmente, la cola es más pequeña que la LHC del individuo. Con ayuda de una lupa con aumento de 5x se contabilizó el número de ácaros presentes en cada zona

del cuerpo: extremidades anteriores y posteriores, cabeza, cuello, dorso, vientre y cola (Figura 1).

De aquellos individuos que presentaban más de 70 ácaros en todo el cuerpo, se les tomó una muestra de aproximadamente 30 ácaros distribuidos en las distintas regiones corporales, por lo que, finalmente se obtuvieron muestras de ectoparásitos para cada sexo (de la lagartija), temporada y población. Para la toma de muestras, se utilizó una aguja hipodérmica previamente humedecida en alcohol, la cual se froto ligeramente sobre el cuerpo de la lagartija hasta que los ácaros se desprendieron, posteriormente, la aguja se utilizó como una pequeña pala para recoger a cada ácaro y depositarlo en un tubo Eppendorf de 1.5 ml que contenía alcohol al 70%.

Para obtener los datos de coloración de los individuos, se usó el sistema de fotografía digital propuesto por Gerald *et al.* (2001) con algunas modificaciones para poderlo aplicar en este estudio. Por lo que, posterior al conteo de ácaros, la lagartija se dejó durante 30 minutos bajo sombra, posteriormente se colocó en un set fotográfico, el cual consistió en un bote con fondo gris y luz blanca. Con una cámara digital Canon PowerShot SX530-HS, calibrada siempre de la misma forma, se tomaron fotografías de alta calidad de la región dorsal y ventral del individuo a una distancia de 25 cm de altura, en condiciones de sombra y siempre utilizando la misma lámpara para iluminar al individuo (Figura 2) (Carmen-Cristobal, 2014).

Para evitar recapturas, una vez tomados los datos los individuos fueron marcados temporalmente con una pequeña señal (punto) de esmalte en el dorso a la altura de las extremidades posteriores (Plummer y Ferner, 2012) y finalmente fueron liberados en la misma roca donde se les observó perchando por primera vez.

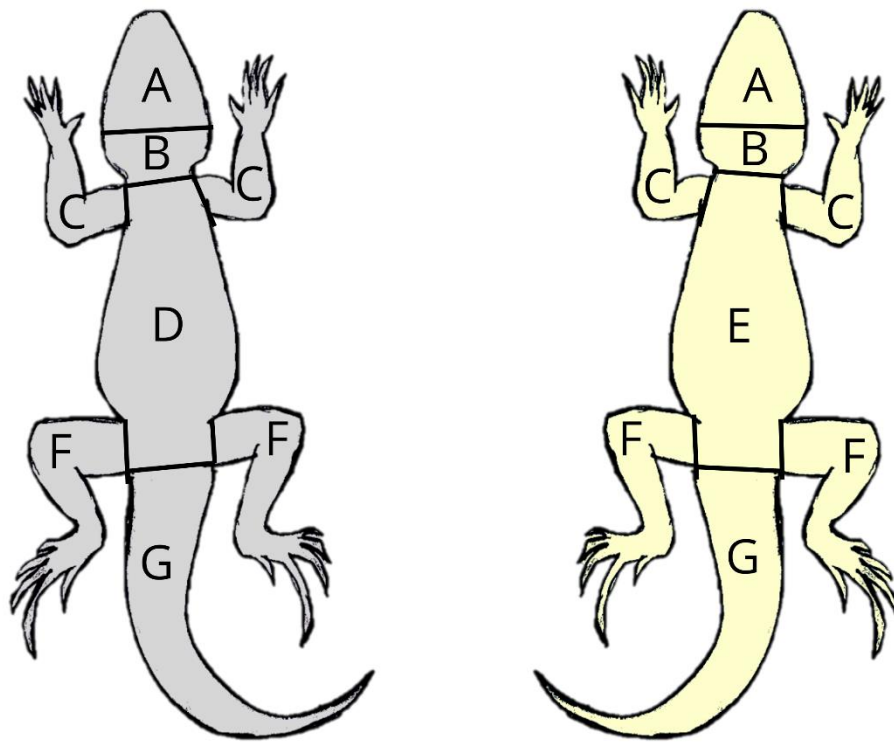


Figura 1. Delimitación de zonas corporales. De lado izquierdo se muestra una vista dorsal y de lado derecho vista ventral. Cabeza (A), cuello (B), extremidades anteriores (C), dorso (D), vientre (E), extremidades posteriores (F) y cola (G).



Figura 2. Set fotográfico en donde se tomaron fotografías digitales del dorso y vientre de los individuos.

Trabajo de laboratorio y procesamiento de muestras

La identificación taxonómica de las muestras de ácaros se llevó a cabo en la Colección Nacional de Ácaros (CNAC), UNAM. Las muestras de ácaros extraídos en campo se depositaron sobre una caja Petri y se observaron con ayuda de un microscopio estereoscópico a 10X, posteriormente, de cada muestra solo se eligieron 4 ácaros para su posterior montaje. Los criterios que determinaron qué ácaros serían montados por cada muestra fueron: 1) que el ácaro estuviera completo (todas las patas y gnatosoma), 2) que aparentemente fueran diferentes unos a otros, y 3) que las muestras incluyeran tanto larvas (presencia de tres pares de patas) como adultos (presencia de cuatro pares de patas). Una vez elegidos los 4 ácaros por muestra, se procedió al montaje mediante el método de Walter y Krantz, (2009) con algunas modificaciones sugeridas por el investigador asociado a la CNAC.

Para aclarar las muestras, se ocuparon portaobjetos cóncavos, en donde se depositó la muestra con cuatro ácaros en cada cavidad y se les agregó una gota de lactofenol, posteriormente, el portaobjetos se expuso a una plancha térmica a una temperatura promedio de 30 °C hasta que el ácaro tuviera un aspecto transparente (10 minutos aproximadamente).

Posterior al aclarado, con ayuda de un microscopio estereoscópico, pinzas de relojero y agujas, se tomó al ácaro, se enjuagó con agua, se puso en la parte central de un portaobjetos plano (procurando que sus patas quedaran extendidas y con el gnatosoma viendo hacia nosotros) y se le agregó una gota de medio Hoyer preparado con la siguiente formula:

- Agua destilada 50 ml
- Goma arábica 30 gr
- Hidrato de cloral 200 gr
- Glicerina 20 ml

La gota del medio Hoyer se dejó caer lo más cerca posible para evitar formar burbujas en la muestra, finalmente, la muestra se cubrió con un cubreobjetos. Las muestras obtenidas se rotularon con el ID del hospedero.

Para acelerar el proceso de secado, las muestras fueron almacenadas durante una semana en una cámara térmica. Una vez que las muestras se encontraban secas y el medio de Hoyer tuviera una apariencia sólida, éstas se identificaron taxonómicamente. Las distintas muestras se observaron con un microscopio óptico Nikon ECLIPSE E200, en donde las estructuras diagnosticas se lograron observar a 40 y 100X. Para la identificación de ácaros trombicúlidos, se utilizaron las claves de Hofmann (1990), y para la identificación de ácaros pterigosomatidos, se utilizaron las claves de identificación y descripciones de Paredes-León *et al.* (2012) y Paredes-León y Guzmán-Cornejo (2015).

Por otra parte, para obtener los datos de coloración, solo se tomaron en cuenta los individuos adultos, en donde las imágenes anteriormente tomadas en campo, se cargaron al software Adobe Photoshop CS5 (Adobe Systems Inc, 2010), una vez

cargadas, se calibraron siempre de la misma manera, que consistió en: con la herramienta de “color sampler tool” se tomó una muestra de color del fondo gris, posterior nos dirigimos hacia la función de “curves” y para cada color (rojo, verde y azul) el “output” se configuró con un valor de 120. Basándonos en Salica y Halloy (2009a), se obtuvieron cuatro muestras de color para cada región corporal, 1) dorso, 2) vientre y 3) gula (Figura 3). Para cada muestra, se obtuvieron los valores de tono (H), saturación (S) y brillo (B) (sistema de coloración de Munshell), estas cuatro muestras se promediaron para así obtener un valor único.

Los valores obtenidos H se expresaron en grados (representado los colores del círculo cromático), la S en porcentaje (donde 0% es un color gris sin saturación y el 100% es el color más puro) y el B en porcentaje (donde 0% es un color negro sin brillo y 100% es un color muy brillante). Debido a la naturaleza porcentual de los valores de B y S, y la necesidad de normalizar los datos, se transformaron con la formula Arcoseno ($\sqrt{x \text{ B o S}/100}$) para su posterior análisis, ya que los porcentajes pueden tener una distribución sesgada por estar acotados a valores entre 1 y 100, además, la transformación evita que los valores extremos dominen el análisis estadístico y pueden eliminar efectos no lineales y facilitar la interpretación.

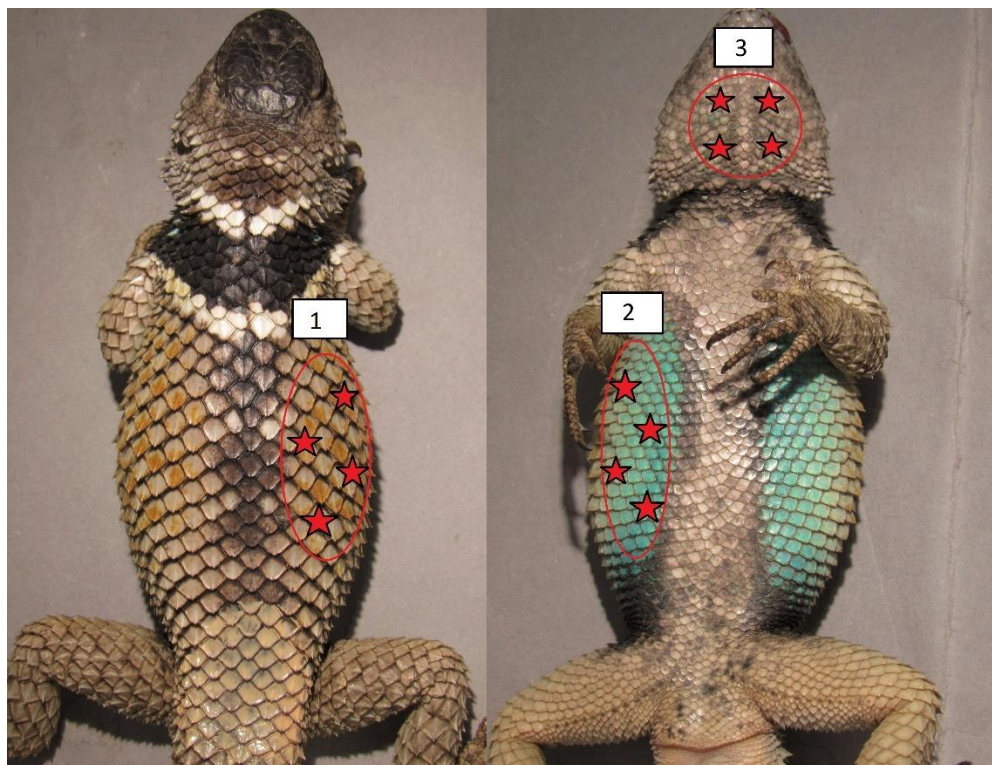


Figura 3. Representación de las 4 muestras de color obtenidas para las regiones del 1) dorso, 2) vientre y 3) gula. A la izquierda una vista dorsal y a la derecha una vista ventral de un individuo macho adulto.

Análisis de datos

Basándonos en Espinoza-Carniglia *et al.* (2016), para cada zona corporal (extremidades anteriores y posteriores, cabeza, cuello, dorso, vientre y cola), se calculó la abundancia de ácaros (número de ácaros en cada zona), se calculó la prevalencia (número de lagartijas parasitadas / número de lagartijas totales), abundancia promedio (número total de ácaros / número de lagartijas totales) e intensidad promedio (número total de ácaros / número de lagartijas parasitadas), esto se realizó para cada población, temporada, sexo y clase de edad.

Debido a que estudios previos han demostrado que la carga parasitaria y la expresión de coloración se relaciona con los niveles hormonales (Cox *et al.*, 2008; García-De la Peña *et al.*, 2010), para los individuos adultos, se realizaron correlaciones entre la abundancia de ácaros vs los atributos de color de los adultos (tono, brillo y saturación)

Para evaluar la influencia que tiene el ectoparasitismo con algunos atributos morfológicos de machos y hembras, para adultos y juveniles, en conjunto, se aplicó un análisis de correlación de Spearman entre el índice de condición física (ICF) y LHC vs el número de ácaros presentes en cada lagartija (Schall *et al.*, 2000; García-De la Peña *et al.*, 2004).

Para obtener el ICF se aplicó la fórmula (Nikolsky, 1963):

$$ICF = (PT/LHC) \times 100$$

Donde, PT= peso de la lagartija y LHC= longitud hocico-cloaca

Debido a que la especie presenta dimorfismo sexual en coloración (por lo menos coloración ventral) e ICF (ver capítulo 1), los análisis se realizaron para machos y hembras de forma independiente.

Por otra parte, para evaluar los atributos ecológicos que promueven la carga ectoparasitaria, con el Software R4.2.2 (R Core Team, 2022), con la función “glm”, se realizó un modelo lineal generalizado (MLG) para evaluar el efecto de 5 variables independientes (población: LE y CR; temporada: lluvias y secas; sexo: machos y hembras; cola: regenerada u original e índice de condición física [ICF]) en donde, el número de ácaros fue la variable dependiente. Se utilizó la distribución Poisson y se consideró la función “link=log” (Dunn y Smyth, 2018).

Se realizaron MLG para todas las variables independientes y para las interacciones entre éstas, posteriormente, para identificar el modelo con mejor ajuste, para cada MLG se obtuvo el AICc (mediante el paquete MuMIn; Bartón, 2009) y se eligió el valor más bajo. Debido a que ningún modelo tuvo un valor de AICc cercano al modelo que mejor se ajustó ($\Delta AICc < 2$), solo se tomó en cuenta el modelo que presentó mayor ajuste.

Por otra parte, para identificar cambios de coloración entre poblaciones y temporadas, para cada sexo (machos y hembras por separado), se realizó un PERMANOVA seriada de dos vías con 9999 permutaciones, en donde las variables

independientes fueron la población (LE y CR) y la temporada (lluvias y secas), y las variables dependientes fueron los valores de H, S y B de la región dorsal, ventral y gular (9 variables en total).

Posteriormente, para identificar que variables independientes son las que están alimentando el modelo, se realizaron varias PERMANOVAS quitando una variable dependiente a la vez. Finalmente se realizó PERMANOVA excluyendo las variables dependientes en las que, al quitarlas, el valor de F para cada factor aumentaba respecto a la primera PERMANOVA con todas las variables. Los análisis se realizaron con el software Statistica 10.0 (StatSoft, Inc, 2011).

IV. RESULTADOS

Registro acarológico

En total, se analizaron 44 muestras de ácaros, 22 para cada población, donde el 56.8% se identificaron como ácaros de la especie *Geckobiella pelaezi* (15 larvas, 9 deutoninfas y un adulto; Figura 4), el 13.6% como *Geckobiella texana* (1 deutoninfa y 5 adultos; Figura 5) y el 29.6% larvas de *Eutrombicula alfreddugesi* (Figura 6).

Para la localidad de LE se analizaron 15 muestras en temporada de lluvias, de las cuales el 46.6% fueron larvas de *E. alfreddugesi*, el 40% *G. pelaezi* (4 larvas y 2 deutoninfas) y el 13.4% adultos de *G. texana*. Durante la temporada de secas, se analizaron 7 muestras, de las cuales el 14.3% fueron larvas de *E. alfreddugesi* y el 85.7% fueron *G. pelaezi* (4 larvas y 2 deutoninfas).

En la población de CR, durante la temporada de lluvias se analizaron 12 muestras, de las cuales *E. alfreddugesi* (larvas), *G. pelaezi* (3 larvas y una deutoninfa) y *G. texana* (3 adultos y una deutoninfa) se presentaron en la misma proporción (33.3%). Durante la temporada de secas se analizaron 10 muestras de las cuales el 11.2% fueron larvas de *E. alfreddugesi* y el 88.8% fueron *G. pelaezi* (un adulto, 4 deutoninfas y 4 larvas).

A continuación, se muestra la clasificación taxonómica de cada especie encontrada.

Subclase Acari

Superorden Acariformes

Orden Trombidiformes

Suborden Prostigmata

Familia Pterygosomatidae

Geckobiella pelaezi

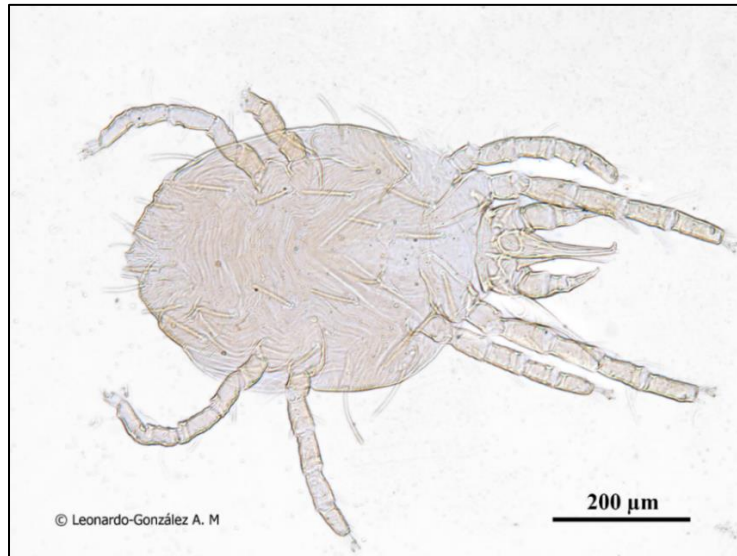


Figura 4. Ácaro adulto de la especie *Geckobiella pelaezi*.

Geckobiella texana

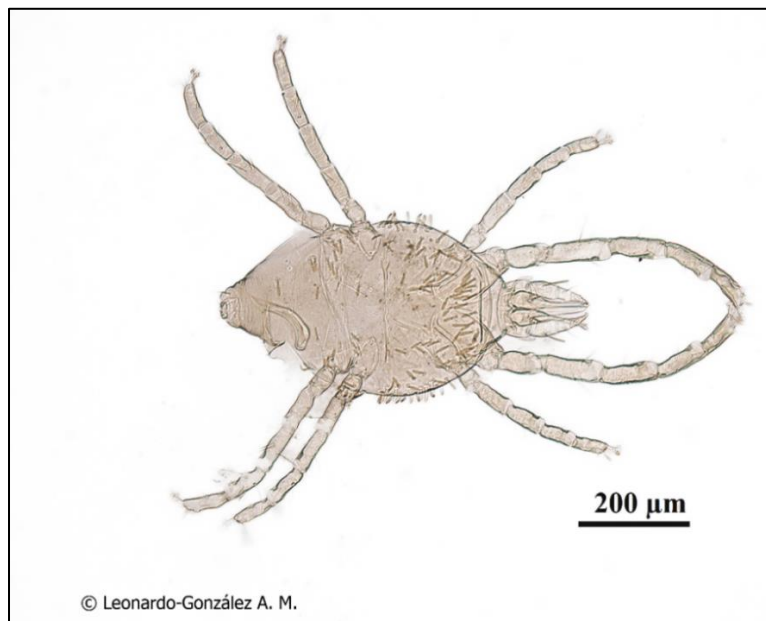


Figura 5. Ácaro adulto de la especie *Geckobiella texana*.

Familia Trombiculidae

Eutrombicula alfreddugesi

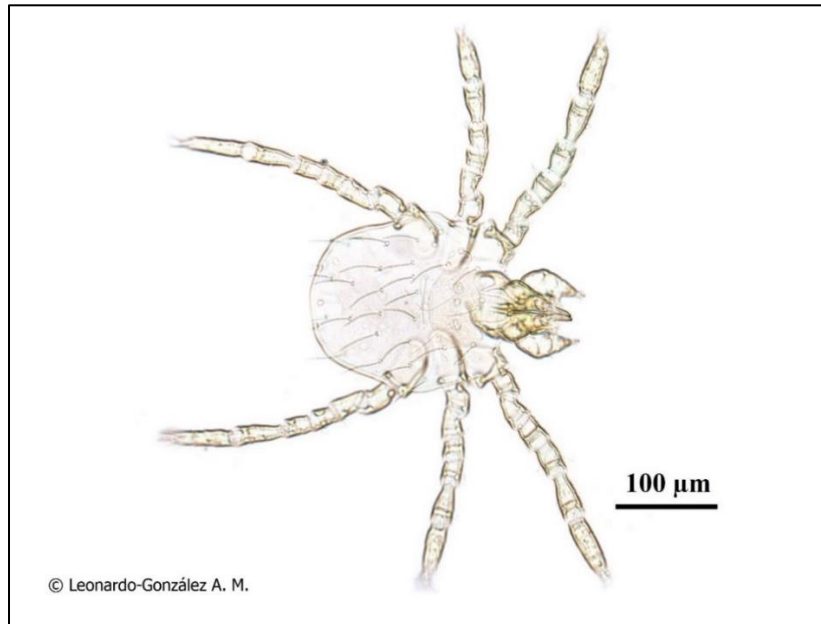


Figura 6. Larva de ácaro de la especie *Eutrombicula alfreddugesi*.

Caracterización de la infestación y distribución corporal de ácaros

En total, se analizaron 135 lagartijas, en donde la prevalencia de ácaros fue de 91%, la abundancia promedio de 49.1, la intensidad promedio de 53.9 y el intervalo de intensidad de 1-447.

En la población de LE, los individuos presentaron una abundancia promedio de 44 ácaros distribuidos en su cuerpo, con un intervalo de abundancia que va de los dos a los 278 ácaros por individuo, teniendo una desviación estándar de 59.95. La carga parasitaria se distribuyó uniformemente entre ambos sexos, por lo que no se encontraron diferencias significativas ($U=458$, $P=0.605$).

En la misma población, durante la temporada de lluvias, todos los individuos presentaron ácaros, siendo los adultos (machos=53.7, hembras=61.8) quienes presentaron mayor intensidad promedio de infestación con respecto a los juveniles (machos=24.7, hembras=10.3; Tabla 3). Por otra parte, durante la temporada de

secas, todos los adultos presentaron ácaros, los machos adultos (machos=58.8) presentaron mayor intensidad promedio que los machos juveniles (machos=8.5, Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización de las infestaciones por ácaros durante la temporada de lluvias y secas en la población de La Estanzuela, Mineral del Chico. El guion bajo (–) significa falta de datos

	Lluvias			
	Machos		Hembras	
	Juveniles	Adultos	Juveniles	Adultos
Prevalencia (%)	100	100	100	100
Abundancia promedio	24.7	53.7	10.3	61.8
Intensidad promedio	24.7	53.7	10.3	61.8
Intervalo de intensidad	8-65	4-191	2-32	2-278
	Secas			
	Machos		Hembras	
	Juveniles	Adultos	Juveniles	Adultos
Prevalencia (%)	50	100	50	100
Abundancia promedio	4.2	58.8	30	68.3
Intensidad promedio	8.5	58.8	60	68.3
Intervalo de intensidad	1-16.	17-120	–	4-256

En la población de la Canta Ranas, la infestación entre individuos fue variada, teniendo una abundancia promedio de 52.89 ácaros distribuidos sobre el cuerpo, con un rango que va de 1 a 447 ácaros por individuo, con una desviación estándar de 71.6, donde los machos (75 ± 99.27) presentaron una carga ectoparasitaria mayor que las hembras (42.72 ± 52.67); sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($P=0.146$).

En la temporada de lluvias, la prevalencia fue del 100%, donde la intensidad promedio en los machos fue similar tanto en juveniles (84.5) como en adultos (88), lo mismo ocurrió en las hembras (juveniles=48, adultos=53.7). En la temporada de secas, los machos presentaron una prevalencia del 100%, los machos adultos (82.1) tuvieron mayor intensidad de infestación que los machos juveniles (27.5);

mientras que, en las hembras fue lo contrario, las hembras juveniles (82.1) fueron más parasitas que las hembras adultas (31.3, Tabla 2).

Tabla 2. Caracterización de las infestaciones por ácaros durante la temporada de lluvias y secas en la población de Canta Ranas, Santiago Tulantepec.

	Lluvias			
	Machos		Hembras	
	Juveniles	Adultos	Juveniles	Adultos
Prevalencia (%)	80	80	80	80
Abundancia promedio	74	74	45.2	47
Intensidad promedio	84.5	80	48	53.7
Intervalo de intensidad	1-204	12-160	3-158	8-161

	Secas			
	Machos		Hembras	
	Juveniles	Adultos	Juveniles	Adultos
Prevalencia	100	100	80	90
Abundancia promedio	27.5	37.2	65.7	29.3
Intensidad promedio	27.5	37.2	82.1	31.3
Intervalo de intensidad	15-40	6-447	15-261	4-112

Respecto a la distribución corporal de ácaros, se identificaron tres estructuras en las que se refugiaron la mayoría de ácaros: las extremidades posteriores, el cuello y la cola, mientras que, la zona corporal en la que se encontraron menor cantidad de ácaros fue la cabeza, a pesar de su cercanía con el cuello.

En LE, durante la temporada lluvias, la mayoría de ácaros se alojaron en las extremidades posteriores, el cuello, el dorso y la cola; y en la temporada de secas, la mayoría se alojó en las extremidades posteriores. En CR, durante la temporada de lluvias, la mayoría de ácaros se alojaron en el cuello, mientras que, en secas, se distribuyeron en todo el cuerpo alojándose principalmente en las extremidades posteriores, cuello y cola (Figura 7).

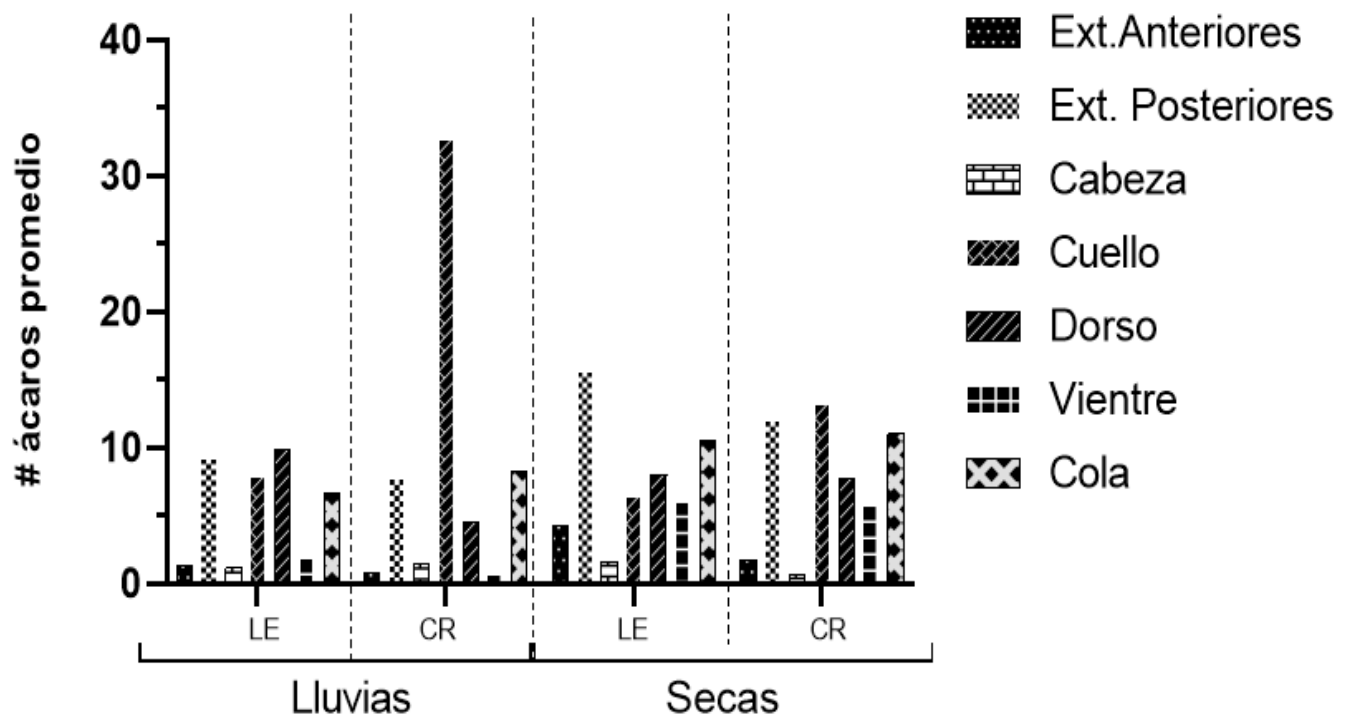


Figura 7. Distribución de los ácaros en la región del cuerpo de las lagartijas de La Estanzuela (LE) y Canta ranas (CR) en temporada de lluvias y secas. Se menciona la abreviación de Extremidades como “Ext”.

Factores que promueven la intensidad de ácaros

En la población de LE, la LHC ($r_s=0.463$, $P<0.001$) de los individuos se correlacionó positiva y significativamente con el número de ácaros de los individuos de ambos sexos (Tabla 3); en este sentido, se observa que los individuos más pequeños de la población no presentan ácaros, mientras que las mayores cargas parasitarias (mayores a 100 ácaros) son más frecuentes en los individuos adultos (LHC>63 mm; Fig. 8).

En machos, la saturación (S) del vientre ($r_s=0.47$, $P=0.007$) y el brillo (B) del dorso ($r_s=0.405$, $P<0.022$) se correlacionaron positiva y significativamente con el número de ácaros, mientras que el B de la gula ($r_s=-0.422$, $P<0.016$) se correlacionó negativamente con los ácaros (Tabla 3). En hembras solo el ICF ($r_s=0.419$, $P=0.021$) y la S de la gula ($r_s=0.526$, $P=0.002$) se correlacionó positivamente con el número

de ácaros (Tabla 3). El tono (H) de ninguna zona corporal se correlacionó con la cantidad de ácaros.

En la población de CR, utilizando el total de individuos, no se encontró una correlación entre LHC y número de ácaros ($r_s=0.060$, $P=0.615$; Figura 9); sin embargo, al separarlas por sexo, se presenta correlación en los machos ($r_s=0.55$, $P=0.008$), lo mismo sucedió con el B de la gula, la cual se correlacionó negativamente con el número de ácaros ($r_s=-0.5$, $P=0.016$). No mostró correlación entre ácaros y el resto de los atributos de color de las distintas zonas corporales en ningún sexo (Tabla 3).

Tabla 3. Correlaciones de Spearman entre el número de ácaros presentes en el cuerpo y distintas variables morfológicas (LHC=longitud hocico-cloaca, ICF= Índice de condición física, H= Tono, S= Saturación y B= Brillo). Los valores estadísticamente significativos están marcados con asterisco (*) y en negritas.

La Estanzuela							
		Machos			Hembras		
		r _s	P	n	r _s	P	n
Ventre	LHC	0.41	0.020*	32	0.56	0.001*	30
	ICF	0.19	0.306	32	0.42	0.021*	30
	H	0.06	0.725	21	-0.27	0.149	18
	S	0.47	0.007*	21	0.23	0.216	18
	B	0.08	0.660	21	0.17	0.370	18
Dorso	H	0.03	0.880	21	-0.22	0.251	18
	S	0.24	0.193	21	0.36	0.053	30
	B	0.40	0.022*	21	0.32	0.086	18
Gula	H	0.08	0.647	21	-0.06	0.758	18
	S	0.19	0.308	21	0.53	0.002*	18
	B	-0.42	0.016*	21	-0.02	0.911	18
Canta Ranas							
		Machos			Hembras		
		r _s	P	n	r _s	P	n
Ventre	LHC	0.55	0.008*	22	-0.11	0.448	47
	ICF	0.53	0.006*	22	-0.08	0.603	47
	H	0.39	0.072	13	-0.03	0.853	24
	S	-0.01	0.951	13	0.14	0.347	24
	B	-0.17	0.450	13	0.19	0.201	24

Dorso	H	-0.16	0.482	13	-0.06	0.690	24
	S	0.32	0.143	13	-0.11	0.476	24
	B	0.11	0.617	13	-0.13	0.392	24
Gula	H	0.22	0.333	13	0.09	0.536	24
	S	0.12	0.585	13	0.05	0.763	24
	B	-0.50	0.016*	13	0.06	0.676	24

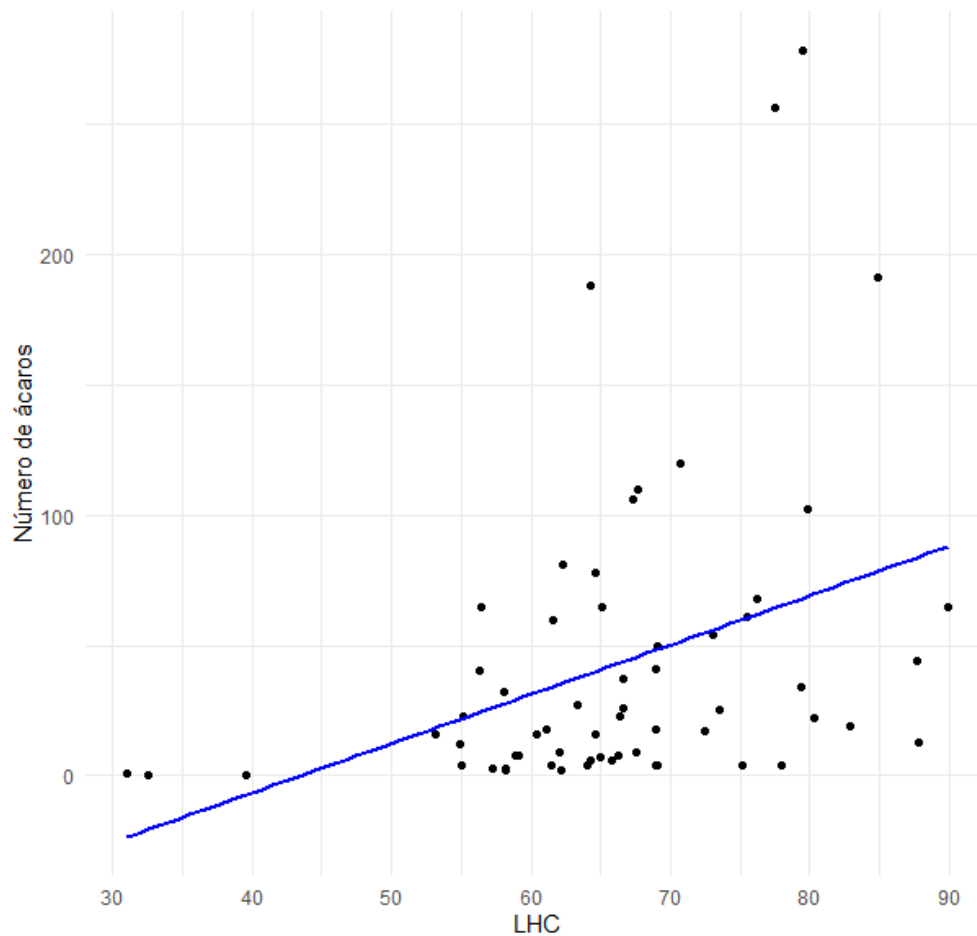


Figura 8. Correlación entre la longitud hocico-cloaca (LHC en mm) y el número de ácaros presentes en las lagartijas de la población de La Estanzuela ($r_s=0.463$, $P<0.001$).

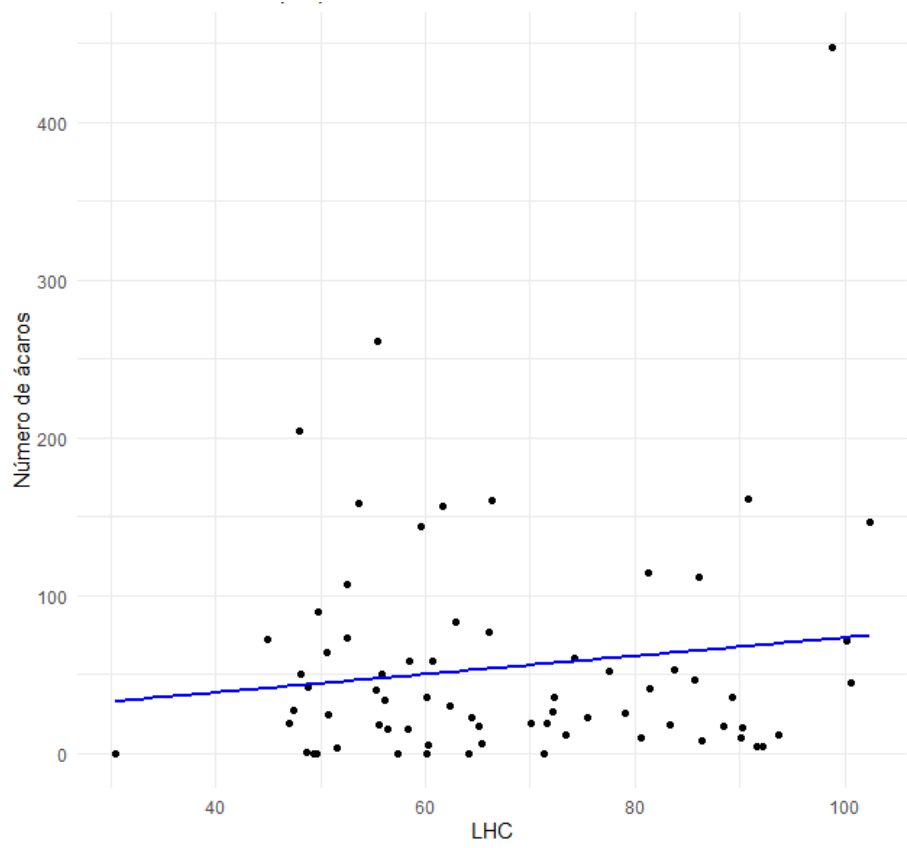


Figura 9. Correlación entre la longitud hocico-cloaca (LHC en mm) y el número de ácaros presentes en las lagartijas de la población de Canta Ranas ($r_s=0.060$, $P=0.615$).

El modelo lineal generalizado (MLG) indicó que el modelo que mejor se ajusta para explicar la intensidad de ácaros, es donde se contempló la población (LE o CR), temporada (lluvias o secas) y el estado de la cola (original o regenerada), además que, el segundo modelo que más se ajustó tiene un valor de AICc superior a 2 unidades respecto al que mejor se ajustó, por lo que solo se tomó en cuenta el primer modelo (marcado en negritas en la Tabla 4).

El MLG mostró que la intensidad de infestación es mayor en CR (54.38 ± 72.05) que en LE (44 ± 59.95 ; $Z=-19.55$, $P<0.001$), mayor en secas (52.60 ± 72.27) que en lluvias (46.9 ± 59.83 ; $Z=-4.255$, $P<0.001$) y mayor en individuos

con cola regenerada (71.33 ± 90.13) que con cola original (38.46 ± 47.68 ; $Z=4.833$, $P<0.001$). Además, la interacción de los factores influye en el grado de infestación, el efecto de los factores temporada y cola es diferente en cada población. En LE el número de ácaros fue mayor en secas (52.76 ± 59.97) que en lluvias (38.23 ± 60.03), mientras que CR fue similar (lluvias= 56.31 ± 59.03 ; secas= 52.5 ± 83.60).

Los individuos con cola regenerada presentaron más ácaros que los de cola completa en ambas poblaciones; sin embargo, esta diferencia fue mayor en LE (Completa= 28.04 ± 31.85 , Regenerada= 87.17 ± 91.44). La combinación de los 3 factores (temporada, población y estado de la cola) mostró que las altas cargas parasitarias se presentan en individuos con cola regenerada, en LE se intensifica en la temporada de secas (lluvias= 82 ± 93.54 , secas= 96.66 ± 95.34); mientras que, en CR, si intensifica durante las lluvias (lluvias= 64.55 ± 65.86 , secas= 55.13 ± 94.11 ; Tabla 5).

Tabla 4. Modelos lineales generalizados aplicados al número de ácaros presentes por individuo (Intensidad). Se muestra el valor de criterio de información de Akeike ajustado a muestras pequeñas (AICc). El modelo seleccionado para la interpretación de los resultados (más parsimonioso) se muestra en la primera línea marcado con asterisco en negritas

Modelos	AICc	Δ AICc
Intensidad~Población+Temporada+Cola	8098.642	0
Intensidad~Cola+Sexo	8145.185	46.543
Intensidad~Cola+Sexo+ICF	8216.552	117.91
Intensidad~Población+Cola	8261.279	162.637
Intensidad~Población+Temporada+ICF+	8484.813	386.171
Intensidad~Cola+ICF	8608.433	509.791
Intensidad~Temporada+Cola+	8624.754	526.112
Intensidad~Cola	8644.484	545.842
Intensidad~Población+Temporada+Sexo+	8663.292	564.65
Intensidad~Sitios+ICF+Población+ICF	8675.126	576.484
Intensidad~Sexo+ICF	8740.861	642.219
Intensidad~Población+Sexo	8860.353	761.711
Intensidad~Temporada+ICF	8955.482	856.84
Intensidad~Población+Temporada	9081.267	982.625
Intensidad~Sexo+ICF	9151.214	1052.572
Intensidad~ICF	9151.214	1052.572
Intensidad~Población	9157.521	1058.879
Intensidad~Temporada	9223.932	1125.29

Tabla 5. Resultados del modelo lineal generalizado que tuvo un mejor ajuste. Los valores estadísticamente significativos están marcados con asterisco (*) y en negritas

	Estimate	Std. Error	Z	P
Población	-0.9816	0.05021	-19.55	<0.001*
Temporada	-0.19501	0.04583	-4.255	<0.001*
Cola	0.24203	0.05008	4.833	<0.001*
Población:Temporada	0.83997	0.07259	11.572	<0.001*
Población:Cola	1.14879	0.0737	15.588	<0.001*
Temporada:Cola	0.02707	0.06896	0.393	0.695
Población:Temporada:Cola	-0.50748	0.10371	-4.893	<0.001*

Cambios de coloración en espacio y tiempo

Se analizó la coloración de 79 individuos adultos, 39 en LE y 40 en CR, de forma general, los machos presentaron parches ventrales color azul y las hembras presentaron una coloración ventral parda; sin embargo, también se encontraron individuos machos con coloración ventral característica de las hembras, así como hembras con una coloración ventral similar a la de los machos (Figura 10).

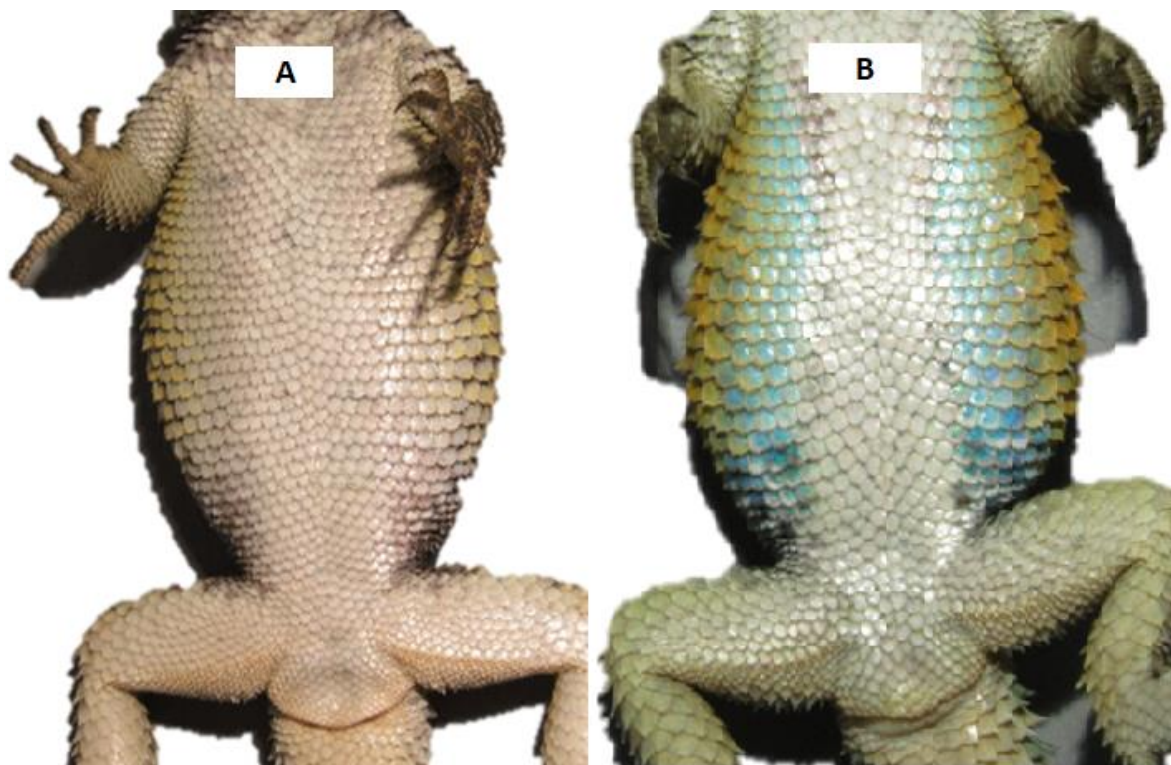


Figura 10. A) Macho adulto con coloración ventral característica de hembras (LHC=80.58mm), B) Hembra adulta con coloración ventral característica de machos (LHC=76.27 mm).

En LE, en la temporada de lluvias, los machos presentaron una coloración ventral color azul, característica en adultos, el dorso presentó una coloración café, que bien pudo deberse al promediar los valores de coloración naranja y negro (colores presentes en la coloración dorsal); mientras que el color de la garganta, se obtuvo una coloración cercana a verde con baja saturación. Por otra parte, las hembras, durante la temporada de lluvias, presentaron una coloración ventral cercana a verde, un dorso café (al igual que los machos) y una garganta color gris.

Ambos sexos presentaron una coloración ventral más intensa en temporada de lluvias que en temporada de secas, la región de la gula también fue más llamativa durante la temporada de lluvias, mostrando colores verdes en los machos y más grises en hembras (Tabla 6).

Por otra parte, en la población de CR, los machos mostraron una coloración azul más intensa durante la temporada de lluvias que en secas, mientras que las hembras presentaron una coloración ventral cercana al gris. La coloración de la región gular, mostró un patrón entre verde y gris, donde fue más intensa en machos que en hembras y similar entre temporadas (Tabla 6).

Tabla 6. Promedio y desviación estándar ($\bar{x} \pm DE$) de atributos de color del vientre, dorso y gula de machos y hembras. Se presentan los valores de Tono (H, expresado en grados), Saturación (S, expresado en porcentaje) y Brillo (B, expresado en porcentaje). Además, una muestra de color creada a partir de estos valores.

LA ESTANZUELA										
Lluvias										
	VIENTRE			DORSO			GULA			n
	H	S	B	H	S	B	H	S	B	
Machos	175.41±61.24	0.59±0.21	0.89±0.15	37.06±5.69	0.73±0.18	0.70±0.13	121.05±74.94	0.37±0.15	0.72±0.14	15
Hembras	57.12±35.38	0.49±0.16	0.82±0.05	29.7±6.75	0.71±0.14	0.56±0.08	43.79±16.55	0.34±0.12	0.81±0.04	6
Secas										
	VIENTRE			DORSO			GULA			n
	H	S	B	H	S	B	H	S	B	
Machos	55.66±23.71	0.48±0.1	0.94±0.12	27.33±6.11	0.68±0.11	0.76±0.16	71.12±77.68	0.47±0.17	0.83±0.12	6
Hembras	37.41±16.52	0.55±0.1	1.03±0.06	28.95±4.97	0.77±0.1	0.78±0.15	60.37±59.44	0.53±0.11	0.9±0.08	12
CANTA RANAS										
Lluvias										
	VIENTRE			DORSO			GULA			n
	H	S	B	H	S	B	H	S	B	
Machos	188.3±62.14	0.47±0.28	0.87±0.09	36.3±2.5	0.64±0.14	0.8±0.13	96.65±55.44	0.38±0.12	0.67±0.08	5
Hembras	95.5±53.5	0.43±0.15	0.93±0.11	37.78±8.21	0.66±0.12	0.67±0.04	69.96±39.76	0.37±0.07	0.81±0.14	8
Secas										
	VIENTRE			DORSO			GULA			n
	H	S	B	H	S	B	H	S	B	
Machos	164.9±58.7	0.63±0.13	0.99±0.21	43.06±7.56	0.84±0.11	0.83±0.14	99.4±49.53	0.47±0.09	0.68±0.11	8
Hembras	87.73±60.53	0.55±0.15	0.96±0.12	43.26±10.49	0.76±0.15	0.78±0.11	68.06±58.98	0.55±0.17	0.84±0.12	16

Las PERMANOVA's seriadas mostraron que no todos los atributos de color varían entre temporadas y poblaciones (Tabla 7). En machos, solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre temporadas ($F=6.7418$, $P=0.007$), en donde el H del vientre fueron mayores en lluvias (178.63 ± 60.07) que en secas (118.08 ± 72.24), además, la interacción entre los factores "temporada" y "población" resultaron estadísticamente significativos ($F=1.392$, $P=0.017$, Tabla 8).

En hembras, solo los valores de H del vientre y dorso variaron entre poblaciones ($F=7.8183$, $P=0.004$; Tabla 8) siendo los individuos de CR los que mostraron valores más altos de H del vientre y dorso en CR (Ventre= 90.07 ± 58.49 , Dorso= 41.52 ± 10.18) que en LE (Ventre= 43.98 ± 25.22 , Dorso= 29.2 ± 5.43).

Tabla 7. PERMANOVA's aplicadas para machos y hembras por separado, donde el tono (H), brillo (B) y saturación (S) del vientre (Vi), Dorso (Do) y región gular (Gu) son las variables dependientes, y la población y temporada los factores. Las variables seleccionadas para la interpretación de los resultados (aquellas que promueven la diferencia entre factores) se muestran en negritas

Machos								
Población			Temporada			Interacción		
	F	P		F	P		F	P
H Vi	0.134	0.675	H Vi	0.963	0.265	H Vi	-7.952	0.75
H Do	0.83436	0.3151	Todos	3.31	0.023	H Do	-5.3528	0.2442
Todos	0.858	0.306	B Vi	3.3107	0.0261	B Vi	-5.3116	0.2348
B Vi	0.85859	0.3162	B Do	3.3107	0.0227	S Vi	-5.3116	0.2413
B Do	0.85859	0.3134	S Do	3.3107	0.026	B Do	-5.3116	0.2336
S Do	0.85859	0.3253	B Gu	3.3107	0.0258	S Do	-5.3116	0.2441
B Gu	0.85859	0.3182	S Gu	3.3107	0.0265	B Gu	-5.3116	0.2349
S Gu	0.85859	0.307	S Vi	3.3108	0.029	S Gu	-5.3116	0.2349
S Vi	0.8586	0.3167	H Do	3.3247	0.024	Todos	-5.311	0.233
H Gu	1.9651	0.1138	H Gu	6.6722	0.007	H Gu	-1.392	0.02

Hembras								
Población			Temporada			Interacción		
	F	P		F	P		F	P
H Vi	0.93116	0.2997	H Vi	0.10941	0.7687	H Vi	-9.6292	0.877
H Do	3.6401	0.0202	H Do	0.28567	0.6981	H Do	-9.4235	0.9287
Todos	3.8198	0.0158	S Gu	0.29274	0.6992	Todos	-9.4096	0.9324
B Vi	3.8198	0.0172	B Do	0.29276	0.7072	B Vi	-9.4096	0.9335
S Vi	3.8198	0.0157	B Vi	0.29277	0.7027	S Vi	-9.4096	0.9305
B Do	3.8198	0.0175	S Vi	0.29277	0.7066	B Do	-9.4096	0.9318
S Do	3.8198	0.0151	S Do	0.29277	0.6989	S Do	-9.4096	0.9347
B Gu	3.8198	0.0173	Todos	0.29278	0.7068	B Gu	-9.4096	0.9315
S Gu	3.8198	0.0181	B Gu	0.29278	0.6959	S Gu	-9.4096	0.9358
H Gu	7.818	0.0039	H Gu	0.53742	0.4307	H Gu	-9.1049	0.9033

Tabla 8. Valores resultantes de F y P para la PERMANOVA utilizando solo aquellas variables que promueven diferencia entre factores. Los valores estadísticamente significativos se indican con un asterisco (*) y en negritas

	Machos			Hembras	
	F	P		F	P
Población	1.9652	0.1105	Población	7.8183	0.004
Temporada	6.7418	0.0072	Temporada	0.53742	0.4368
Interacción	-1.392	0.0173	Interacción	-9.1049	0.9058

V. DISCUSIÓN

Previamente se ha reportado que los principales ácaros asociados a sceloporinos son los trombicúlidos y pterigosomatidos (Paredes-León *et al.*, 2008; Montiel-Parra *et al.*, 2009). En este estudio se registraron 3 especies de ácaros presentes en ambas poblaciones: *Eutrombicula alfreddugesi* (Familia Trombiculidae), *Geckobiella pelaezi* y *G. texana* (Familia Pterygosomatidae), en donde su nivel de infestación fue diferente entre temporadas. Pacheco-Coronel (2006), presenta un registro acarológico similar al de este estudio en individuos de *S. mucronatus* de la serranía del Ajusco (3,290 msnm), donde los ácaros pterigosomatidos son más abundantes que los trombicúlidos, además de que la intensidad promedio tiene fluctuaciones a lo largo del año.

En el presente trabajo, se muestra que no todas las especies de pterigosomatidos son igual de abundantes en los hospederos, ya que, *G. pelaezi* presentó una abundancia muy superior a *G. texana*. Los estudios entre temporadas mostraron que *G. pelaezi* resultó ser la especie más abundante en época de secas, mientras que, durante las lluvias, *E. alfreddugesi* fue la más abundante, posiblemente debido a que los ácaros trombicúlidos solo son parásitos en su estado larval, estos podrían ser más abundantes en el ambiente durante la temporada de las lluvias de verano, cuando el ambiente es cálido y húmedo, características ambientales que favorecen su reproducción (Sasa, 1991; Klukowski, 2004).

Se encontró que las extremidades anteriores, la cabeza y el dorso, son las regiones corporales donde menos se encuentran ácaros, probablemente debido a que los ácaros evitan una radiación del sol directa (evitando el dorso), además, las

escamas de la cabeza tienen una escutelación que podría no favorecer la adherencia de ácaros (Espinoza-Carniglia *et al.*, 2015; 2016), caso contrario a lo ocurrido con los bolsillos de ácaros, los cuales presentaron grandes cargas parasitarias y podrían considerarse microhábitats óptimos para alimentarse y refugiarse (Arnold, 1986). En estudios previos (García-De la Peña *et al.*, 2004; García-Nolasco *et al.*, 2024), se ha comprobado que los bolsillos de ácaros tienen la capacidad de albergar grandes cargas ectoparasitarias (en este caso, más de 100) debido a que la epidermis en esta zona es hiperplásica y resiliente, así evitando lesiones (Arnold, 1966), por lo que la acumulación de ácaros en estas zonas corporales podría disminuir la ocurrencia de lesiones en los hospederos.

Cabe destacar que la distribución de los ácaros sobre el cuerpo del hospedero puede ser diferencial en espacio y tiempo, debido a que hay especies de ácaros que tienen afinidad para alojarse en determinadas zonas del cuerpo del hospedero, mientras que algunas otras pueden distribuirse sobre todo el cuerpo (García-Nolasco *et al.*, 2024), por lo que, la diferencias en cantidad de ácaros por cada zona corporal entre poblaciones y temporadas podría ser el reflejo del porcentaje de la proporción de ácaros de cada especie que este parasitando en determinado momento (Espinoza-Carniglia *et al.*, 2015).

Así mismo, el número de ácaros presentes puede estar influenciado por características, 1) del hospedero, como la morfología, eficacia del sistema inmunológico, niveles de tolerancia a parásitos, exposición a radiación solar, interacciones sociales, distribución y preferencia de microhábitats, 2) del ácaro: ciclo de vida, ciclos reproductivos, resistencia al sistema inmune y morfología, y 3) ambiente térmico, temperaturas, porcentaje de humedad, tipos de vegetación y cobertura vegetal (Folstad y Karter, 1992; Salvador *et al.*, 1996; Zippel *et al.*, 1996; Salvador *et al.*, 1999, De Carvalho *et al.*, 2006, Rubio-Carrasco, 2007; Paterson y Blouin-Demers, 2020; García-De la Peña, 2010), por lo que, es complicado determinar qué factores promueven la carga parasitaria en cada población.

En LE, la mayor intensidad de ácaros ocurrió durante la temporada de lluvias, mientras que en CR fue durante la temporada de secas, probablemente debido a

que las distintas especies de ácaros alcanzan su estado de mayor infección en un determinado rango de humedad y temperatura, por lo que las altas infecciones en lluvias probablemente se deba a las altas tasas de eclosión de trombicúlidos mientras que en la temporada de secas el parasitismo podría estar dominado por pterigosomatidos, además que la actividad de los individuos influye en la capacidad de contagiar y adquirir ácaros, siendo la temporada reproductiva/lluvias en donde las lagartijas tienen mayor actividad que durante la temporada no reproductiva/secas (Sasa, 1961; Klukowski, 2004; Rubio-Carrasco, 2007).

La carga parasitaria se correlacionó con la morfología de los individuos, en donde aquellos que son más grandes y con mayor ICF mostraron mayor cantidad de ácaros, por lo que, posiblemente las grandes cargas ectoparasitarias no afecten el crecimiento e ICF de los individuos. Lo anterior podría ser a consecuencia de que los individuos más grandes presentan mayor espacio para almacenar ácaros, además, las tallas grandes están representadas por individuos adultos, quienes tienen más participación en las interacciones intraespecíficas, un rango hogareño más amplio (principalmente durante la temporada reproductiva) e incluso niveles hormonales asociados a la edad (Rubio-Carrasco, 2007; Díaz-Marín, 2024).

En este contexto, se ha demostrado que el sistema inmunológico puede verse suprimido por la alteración de niveles hormonales, como muchas veces sucede durante etapa reproductiva, cuando los machos producen altos niveles de testosterona y adquieren colores más llamativos (Folstad y Karter, 1992; Klasing, 2004; Cox *et al.*, 2008), o los ocurridos bajo el estrés fisiológico a causa de la pérdida de cola (autotomía caudal) (Kuo *et al.*, 2013). A su vez, la inmunosupresión hace que los individuos sean propensos a adquirir parásitos (hipótesis de discapacidad de inmunocompetencia; Folstad y Karter, 1992; Cox *et al.*, 2008), ya sean ácaros (Argaez *et al.*, 2018), helmintos (Castillo *et al.*, 2022) y/o protistas hemoparásitos (Rivera-Rea *et al.*, 2024). De acuerdo a los resultados obtenidos, se sugiere que la ausencia de cola, o en estado de regeneración, repercute en la cantidad de ácaros que adquieren los individuos, donde individuos con cola regenerada presentan mayor cantidad de ácaros, posiblemente debido a la supresión del sistema inmune

a causa del estrés sufrido por la autotomía caudal (Kuo *et al.*, 2013; Argaez *et al.*, 2018), esto puede ocurrir independiente de la temporada y sexo (como en el presente trabajo), sin embargo, podría ser diferente en otras especies de sceloporinos (Argaez *et al.*, 2018).

La hipótesis de la selección sexual mediada por parásitos propone que los rasgos sexuales secundarios, como la coloración, representan señales honestas de resistencia a parásitos (Able, 1996), en este sentido, los machos con un sistema inmune eficiente presentarían coloraciones conspicuas, menor cantidad de ácaros y serían más atractivos para las hembras, ya que reflejan un sistema inmune eficaz, mientras que individuos muy parasitados presentarían colores menos llamativos demostrando un sistema inmune débil. En este sentido, el brillo de la coloración de la región gular de machos se correlacionó negativamente con la cantidad de ácaros alojados (en ambas poblaciones), es decir, machos con gula menos brillante presentan mayor cantidad de ácaros (como lo predicho por la hipótesis mencionada); sin embargo, en LE se encontró una relación positiva entre la cantidad de ácaros vs el brillo del dorso y saturación del vientre en machos; y saturación de la gula en hembras, es decir, machos con dorso brillante y vientre saturado, y hembras con vientre saturado, presentan más ácaros. Además, el brillo del dorso en machos se correlacionó positivamente con la LHC ($r_s=0.341$; $P=0.006$; resultados no presentados previamente), por lo que, los colores brillantes posiblemente sean el resultado de individuos adultos que tienen dorsos más coloridos debido a la producción de testosterona (Folstad y Karter, 1992; Cox *et al.*, 2008), mientras que en los juveniles predomina el color negro oscuro (valores bajos en brillo).

El mismo patrón podría estar sucediendo con la saturación de color ventral y gular en machos y hembras, respectivamente, donde los colores saturados podrían indicar altos niveles hormonales, que si bien estarían suprimiendo el sistema inmune (hipótesis de inmunocompetencia; Folstad y Karter, 1992), posiblemente no comprometen la salud del hospedero, demostrando que pueden soportar grandes cargas parasitarias. En caso de que el sistema inmune no esté siendo suprimido,

se estaría comprobando que los individuos con colores llamativos reflejan un estado saludable.

Considerando lo anterior, se podría sugerir que *S. mucronatus* es una lagartija capaz de soportar grandes cargas parasitarias, ya que es común encontrar individuos albergando más de 100 ácaros (como en el presente trabajo) y pueden soportar cargas de hasta 850 ácaros (Pacheco-Coronel, 2006), cosa que rara vez sucede en otras especies de sceloporinos como *S. torquatus* (Guzmán-Cornejo *et al.*, 2018), *S. undulatus* (Klukowski, 2004), *Sceloporus variabilis* (García-Nolasco *et al.* 2024) o *S. grammicus* (Díaz-Marín, 2024). Además, no hay evidencia de que las grandes cargas parasitarias tengan repercusiones en la talla alcanzada, ICF o atributos de color, aunque no se descarta la idea de que tenga algún costo en su sistema inmunológico, principalmente durante la etapa reproductiva.

Por otra parte, los atributos de color no siempre parecen reflejar los niveles hormonales en los machos ni representar una señal honesta de su estado inmunológico, ya que se registraron individuos adultos con una coloración ventral similar a la de las hembras (sin parches de coloración). Este patrón sugiere la posible presencia de estrategias reproductivas alternativas, como la de los “machos satélites”. Dichos individuos podrían evitar la competencia directa con machos dominantes al no exhibir coloraciones conspicuas, lo que les permitiría acceder a hembras de manera encubierta.

Este comportamiento ha sido documentado en otras especies del género *Sceloporus*, en las que los machos dominantes suelen ser territoriales, defienden activamente sus áreas mediante exhibiciones visuales y combates, y utilizan sus colores brillantes como señales de condición física y estatus jerárquico (Anderson, 1994; Carpenter, 1995). En contraste, los machos satélites podrían beneficiarse al mimetizar la coloración de las hembras, pasando desapercibidos ante los machos dominantes y obteniendo cópulas sin involucrarse en disputas o defensa de territorios.

Estudios anteriores han demostrado que la expresión de morfos territoriales y no territoriales es causado por mecanismos hormonales que operan durante el

desarrollo temprano (Hews *et al.*, 1994; Moore *et al.*, 1998), adquirir colores similares a los de las hembra, es efectivo a distancias relativamente largas; sin embargo, a distancias cortas, los machos adultos son capaces de reconocer a otros machos por medio de señales quimiosensoriales, por lo que, esta estrategia alternativa solo es exitosa a largas distancias, cuando los machos identifican a otro macho por la coloración. Sin embargo, esta propuesta de que, posiblemente haya machos satélites tendría que comprobarse, ya que anteriormente no se ha reportado en esta o en especies emparentadas, por lo que esa falta de coloración también podría ser producto de algún otro factor hormonal, de desarrollo o plasticidad fenotípica.

Por otra parte, los atributos de coloración de ambos sexos se vieron influenciadas por los factores población y temporada, en donde las diferencias entre temporadas pueden ser el resultado de la expresión hormonal en la que durante la temporada reproductiva los machos producen altos niveles de testosterona que promueve parches de color más vistosos para atraer hembras (Anderson 1994; Carpenter, 1995; Cox *et al.*, 2008), en este caso, durante la etapa reproductiva los valores de tonalidad aumentaron.

En el caso de las hembras, durante la temporada de secas se encuentran en gestación (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988; Villagrán-Santacruz *et al.*, 2009) y adoptan coloraciones nupciales, las cuales son más llamativas que su coloración habitual debido a los niveles de progesterona (Salica y Halloy; 2009^a, 2009^b; Fresnillo *et al.*, 2019), por lo que, posiblemente las hembras con coloraciones ventrales intensas (similar a los parches de coloración en machos) estén reflejando sus altos niveles de hormonas esteroides, ya que estas coloraciones llamativas solo se encontraron durante la temporada de gestación.

Cada población puede adquirir características morfológicas particulares de acuerdo al sitio que habita. En el caso de la coloración, es poco probable que las diferencias encontradas sean el resultado de aislamiento geográfico, ya que las poblaciones no están tan alejadas e incluso podrían estar conectadas (metapoblación); en este contexto, posiblemente la coloración sea producto de

plasticidad fenotípica y/o genes de gran influencia (García-Rosales *et al.*, 2017), lo que podría ayudarles a adaptarse con éxito ante circunstancias cambiantes (Corl *et al.*, 2018); sin embargo, para comprobarlo se tendrían que evaluar las distancias genéticas de ambas poblaciones.

La coloración ventral y dorsal podrían estar respondiendo a la selección sexual, selección natural y/o a las presiones ambientales ocurridas en cada población (Stuart-Fox y Ord, 2004), por otra parte, la coloración dorsal también podría estar correlacionada con los requisitos térmicos de la especie, en donde en zonas elevadas y frías los individuos presentan coloraciones dorsales más oscuras (como en LE), ya que les favorece a tener mayor absorción y reflectancia de radiación para absorber calor (hipótesis de melanismo térmico; Trullas *et al.*, 2021; González-Morales *et al.*, 2021), lo que podría ser benéfico para los individuos de LE debido a que presenta áreas forestales más cerradas que CR.

VI. CONCLUSIÓN

Los hallazgos de este estudio muestran que la distribución de los ácaros ectoparásitos en *S. mucronatus* es heterogénea, concentrándose principalmente en los bolsillos de ácaros de la región del cuello, mientras que zonas como la cabeza presentan menores infestaciones. Además, se registran por primera vez a *Eutrombicula alfredduggesi*, *Geckobiella texana* y *G. pelaezi* como ectoparásitos de esta especie, ampliando el conocimiento sobre su asociación parasitaria.

Se encontró que la carga ectoparasitaria tiende a ser mayor en individuos de mayor tamaño y robustez, así como en aquellos con bajo brillo en la región gular, Este patrón se ve modulado por factores ambientales y propios del individuo, destacando la influencia de la temporada, la población y el estado de la cola.

Por otro lado, en la coloración, se observó variación diferencial entre sexos, poblaciones y temporadas: en machos, la coloración ventral difiere entre estaciones, mientras que, en hembras, la coloración ventral y dorsal varía entre poblaciones. En conjunto, estos resultados resaltan la interacción entre factores ecológicos,

morfológicos y ambientales en la dinámica del ectoparasitismo y en la expresión de atributos de coloración en *S. mucronatus*.

VII. LITERATURA CITADA

- Able, D. J. 1996. The contagion indicator hypothesis for parasite-mediated sexual selection. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93: 2229-2233.
- Adobe Systems Inc. 2010. Adobe Photoshop CS5 (versión 12.0).
- Anderson, M 1994. Sexual Selection. Princeton University, Press, Princeton, NJ.
- Argaez, V., Pruett, J. A., Seddon, R. J., Solano-Zavaleta, I., Hews, D. K. y Zuniga-Vega, J. J. 2021. Steroid hormones, ectoparasites, and color: Sex, species, and seasonal differences in *Sceloporus lizards*. *General and Comparative Endocrinology*, 304, 113717.
- Argaez, V., Solano-Zavaleta, I. y Zúñiga-Vega, J. J. 2018. Another potential cost of tail autotomy: tail loss may result in high ectoparasite loads in *Sceloporus lizards*. *Amphibia-Reptilia*, 39(2), 191-202.
- Arnold, E. N. 1986. Mite pockets of lizards, a possible means of reducing damage by ectoparasites. *Biological Journal of the Linnean Society*, 29: 1-21.
- Bartón, K. 2009. MiMin: Multi-Model Inference. R package version 1.10.0
- Carmen-Cristobal, J. M. 2014. Dominancia social y su relación con la coloración en *Aspidoscelis costata costata* (Squamata: Teiidae). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México, México
- Carpenter, G. C. 1995. The ontogeny of a variable social badge: throat color development in tree lizards (*Urosaurus ornatus*). *Journal of Herpetology*, 29:7-13
- Casas-Andreu, G., López, V. y Ramírez-Bautista, A. 1991. Cómo hacer una colección de anfibios y reptiles. Cuadernos del instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Castillo, G. N., Fernandez Reinoso, R. D. y Corrales Zuñiga, L. A. 2022. ¿Existe relación entre el parasitismo y la autotomía de cola en lagartijas?: Caso de estudio en *Liolaemus darwinii* (Iguania: Liolaemidae).
- Corl, A., Bi, K., Luke, C., Challa, A. S., Stern, A. J., Sinervo, B. y Nielsen, R. 2018. The genetic basis of adaptation following plastic changes in coloration in a novel environment. *Current Biology*, 28: 2970-2977.
- Cox, R. M., Zilberman, V. y John-Alder, H. B. 2008. Testosterone stimulates the expression of a social color signal in yarrow's spiny lizard, *Sceloporus jarrovi*. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, 309: 505-514.
- De Carvalho, A. L. G., De Araújo, A. F. B. y Da Silva H. R. 2006 Patterns of parasitism by *Eutrombicula alfreddugesi* (Oudemans) (Acari, Trombiculidae) in three species of *Tropidurus* Wied (Squamata, Tropiduridae) from Cerrado habitat of Central Brazil. *Rev. Bras. Zool.* 23: 1010-1015.
- Díaz-Marín C. A. 2024. Caracterización ecológica del polimorfismo en la coloración de la lagartija *Sceloporus grammicus* (Squamata: Phrynosomatidae) en ambientes contrastantes del centro de México. Tesis doctoral. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.
- Dunn, P. K. y Smyth, G. K. 2018. *Generalized linear models with examples in R*. New York: Springer, 56:16.
- Espinoza-Carniglia, M., Pérez-Leiva, A., Silva-De la Fuente, M. C., Victoriano-Sepúlveda, P. y Moreno-Salas, L. 2016. Abundancia y distribución de ácaros parásitos (*Eutrombicula araucanensis* y *Pterygosoma* sp.) en lagartijas (*Liolaemus pictus*) de Chile central. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87: 101-108.
- Espinoza-Carniglia, M., Silva de la Fuente, M., Pérez, A., Victoriano, P. F. y Moreno, L. 2015. Fragmented host distribution and trombiculid parasitic load: *Eutrombicula araucanensis* and *Liolaemus pictus* in Chile. *Acarologia*, 55: 209-217.

- Folstad, I. y Karter, A. J. 1992. Parasites, bright males, and the immunocompetence handicap. *The American Naturalist*, 139: 603-622.
- Fresnillo, B., Belliure, J., Gil, D. y Cuervo, J. J. 2019. Hormonal control of seasonal color change in female spiny-footed lizards: an observational and experimental approach. *Current Zoology*, 65: 633-642.
- García-De la Peña, C., Contreras-Balderas, A., Castañeda, G. y Lazcano, D. 2004. Infestación y distribución corporal de la nigua *Eutrombicula alfreddugesi* (Acari: Trombiculidae) en el lacertilio de las rocas *Sceloporus couchii* (Sauria: Phrynosomatidae). *Acta Zoológica Mexicana*, 20: 159-165
- García-De la Peña, C., Gadsden, H. y Salas-Westphal, A. 2010. Carga ectoparasitaria en la lagartija espinosa de yarrow (*Sceloporus jarrovi*) en el cañón de las piedras encimadas, Durango, México. *Interciencia*, 35: 772-776.
- García-Nolasco, D. P., Collado, N. M., Lagunes, R. S., León, R. P., Pastrana, R. N., Salas, D. R. y Maruri, D. T. 2024. Ácaros (Acariformes: prostigmata) parásitos de *Sceloporus variabilis* (Reptilia: Phrynosomatidae) en la zona de las altas montañas, Veracruz, México. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 7: 994-144.
- García-Rosales, A., Ramírez-Bautista, A., Stephenson, B. P., Meza-Lázaro, R. N., & de Oca, A. N. M. 2017. Comparative morphology and genetics of two populations of spiny lizards (genus *Sceloporus*) from Central Mexico. *Zoologischer Anzeiger*, 267, 21-30.
- García-Zendejas, V. 2013. Frecuencia de parásitos de reptiles en cautiverio en diferentes colecciones del estado de Morelos. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.
- Gerald, M. S., Bernstein, J., Hinkson, R. y Fosbury, R. A. E. 2001. Formal method for objective assessment of primate color. *American Journal of Primatology*, 53: 79–85.

- González-Morales, J. C., Rivera-Rea, J., Moreno-Rueda, G., Bastiaans, E., Díaz-Albiter, H., Díaz de la Vega-Pérez, A. H. y Fajardo, V. 2021. To be small and dark is advantageous for gaining heat in mezquite lizards, *Sceloporus grammicus* (Squamata: Phrynosomatidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 132: 93-103.
- Guzmán-Cornejo, C., García-Prieto, L. y Zúñiga-Vega, J. 2018. First quantitative data on the ectoparasitic mites of *Sceloporus torquatus* (Squamata) from the Ecological Reserve of Pedregal de San Angel in Central Mexico. *Acarologia*.
- Hews, D. K., Knapp, R. y Moore, M. C. 1994. Early exposure to androgens affects adult expression of alternative male types in tree lizards. *Hormones and Behavior*, 28: 96-115.
- Hoffmann, A. 1990. Los trombicúlidos de México (Acarida: Trombiculidae). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hoogstraal, H. y Kim, K. C. 1985. Ticks and mammal coevolution, with emphasis on *Haemaphysalis*. In: Kim, K. C. (ed.), Pp. 505–568. *Coevolution of Parasitic Arthropods and Mammals*. Wiley-Interscience, Estados Unidos.
- INAFED. 2011. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: Los municipios del estado. Secretaría de gobernación. Obtenido de: <http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Santiago-Tulanpetec-Enciclopedia-De-Los-Municipios.pdf>
- INAFED. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: Los municipios del estado. Secretaría de gobernación. Obtenido de: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM13hidalgo/index.html>
- Klasing, KC. 2004. The costs of immunity. *Acta Zoologica Sinica*, 50: 961-969.
- Klukowski, M. 2004. Seasonal Changes in Abundance of Host-Seeking Chiggers (Acari: Trombiculidae) and Infestations on Fence Lizards, *Sceloporus undulatus*. *Journal of Herpetology*, 38: 141–144

- Klukowski, M. 2004. Seasonal Changes in Abundance of Host-Seeking Chiggers (Acari: Trombiculidae) and Infestations on Fence Lizards, *Sceloporus undulatus*. *Journal of Herpetology*, 38: 141–144.
- Kuo, CC, Yao, CJ, Lin, TE, Liu HC, Hsu, YC, Hsieh, MK y Huang, WS. 2013. Tail loss compromises immunity in the many-lined skink, *Eutropis multifasciata*. *Naturwissenschaften*, vol. 100: 379- 384.
- Liu, D., Yi, T. C., Xu, Y. y Zhang, Z. Q. 2013. Hotspots of new species discovery: new mite species described during 2007 to 2012. *Zootaxa*, 3663: 1-102.
- Liu, J. F. Zhang, Z. Q. 2016. Hotspots of mite new species discovery: Trombidiformes (2013–2015). *Zootaxa*, 4208: 1-45.
- Magowski, W. Ł., Rezende, J. M. y Ochoa, R. 2025. Ochyronemus, a new genus of the tarsonemid tribe Pseudotarsonemoidini (Acari: Heterostigmata) from Mexico. *Insects*, 16: 46.
- Méndez-de la Cruz, F. R. M., Guillelte Jr, L. J., Santa Cruz, M. V. y Casas-Andreu, G. 1988. Reproductive and fat body cycles of the viviparous lizard, *Sceloporus mucronatus* (Sauria: Iguanidae). *Journal of Herpetology*, 22: 1-12.
- Méndez-de la Cruz, F. R. y Villagrán, M. 1983. Contribución al conocimiento de la ecología y ciclo reproductor de la lagartija vivípara *Sceloporus mucronatus mucronatus*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. (Doctoral dissertation, Tesis de licenciatura. Estado de México. México.
- Mendoza-Roldan, J. A., Mendoza-Roldan, M. A. y Otranto, D. 2021. Reptile vector-borne diseases of zoonotic concern. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 15: 132-142.
- Montiel-Parra, G., Paredes-León, R., Guzmán-Cornejo, C., Hortelano-Moncada, Y., Pérez, T. M., Lot, A. y Cano-Santana, Z. 2009. Ácaros asociados a vertebrados. Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel, A. Lot

- y Z. Cano-Santana (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF, 385-393.
- Moore, M. C., Hews, D. K. y Knapp, R. 1998. Hormonal control and evolution of alternative male phenotypes: generalizations of models for sexual differentiation. *American Zoologist*, 38: 133-151.
- Nikolsky, G. U. 1963. The ecology of fishes. (translated from Russian by L. Birkett) Academic Press, New York.
- Ortega-León, A. M., Smith, E. R., Zúñiga-Vega, J. J y Méndez-de la Cruz, F. R. 2007. Growth and demography of one population of the lizard *Sceloporus mucronatus mucronatus*. *Western North American Naturalist*, 67: 492-502.
- Pacheco-Coronel, N. 2006. Estudio comparativo de la carga parasitaria y hábitos alimentarios de cuatro especies de lagartijas simpátricas de la comunidad de Monte Alegre, Ajusco, México. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México.
- Paredes-León, R. y Guzmán-Cornejo, C. 2015. A new species of pterygosomatid mite and its phylogenetic position within the genus *Geckobiella* (Acariformes: Prostigmata: Pterygosomatidae). *International Journal of Acarology*, 41(1), 19-30.
- Paredes-León, R., Garcia-Prieto, L., Guzman-Cornejo, C., Leon-Regagnon, V. y Perez, T. M. 2008. Metazoan parasites of Mexican amphibians and reptiles. *Zootaxa*, 1904: 1-166.
- Paredes-Leon, R., Klompen, H., y Perez, T. M. 2012. Systematic revision of the genera *Geckobiella* Hirst, 1917 and *Hirstiella* Berlese, 1920 (Acari: Prostigmata: Pterygosomatidae) with description of a new genus for American species parasites on geckos formerly placed in *Hirstiella*. *Zootaxa*, 3510(1), 1-40.

- Paterson, J. E. y Blouin-Demers, G. 2020. High tolerance of two parasites in ornate tree lizards reduces the fitness costs of parasitism. *Journal of Zoology*, 312: 102-10.
- Pérez, T. M., Guzmán-Cornejo, C., Montiel-Parra, G., Paredes-León, R. y Rivas, G. 2014. Biodiversidad de ácaros en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85: 399-407
- Plummer, M. V. y Ferner, J. W. 2012. Marking reptiles. *Reptile biodiversity: standard methods for inventory and monitoring*, 143-150.
- Ponce-Saavedra, J., Jiménez, M. L., Quijano-Ravell, A. F., Vargas-Sandoval, M., Chamé-Vázquez, D., Palacios-Cardiel, C. y Maldonado-Carrizales, J. 2023. The fauna of Arachnids in the Anthropocene of Mexico. In *Mexican Fauna in the Anthropocene*. pp. 17-46. Cham: Springer International Publishing.
- Poulin, R. 1996. The evolution of life history strategies in parasitic animals. *Advances in Parasitology*, 37: 107-134
- R Core Team. 2022. R foundation for statistical computing. *Chin J Hepatol*, 30, 9-20.
- Ramírez-Bautista, A., Hernández-Salinas, U., Cruz-Elizalde, R., Berriozabal-Islas, C., Lara-Tufiño, D., Mayer-Goyenechea, I., G. y Castillo-Cerón, J. M. 2014. Los anfibios y reptiles de Hidalgo, México: Diversidad, biogeografía y conservación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.
- Rivera-Rea, J., González-Morales, J. C., Megía-Palma, R., Bastiaans, E., Quintana, E. y Manjarrez, J. 2024. Seasonal changes in color patches and parasite load of male torquate lizards (*Sceloporus torquatus*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 78: 27.
- Rubio-Carrasco, A. V. 2007. Parasitismo de ácaros (Acari: trombiculidae) sobre *Liolaemus tenuis* en un bosque maulino fragmentado. Tesis de licenciatura. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

- Salica, M. J. y Halloy, M. 2009a. Nuptial coloration in female *Liolaemus quilmes* (Iguania: Liolaemidae): relation to reproductive state. *Revista española de herpetología*, 23, 141-149
- Salica, M. J. y Halloy, M. 2009b. Coloración nupcial en hembras de *Liolaemus quilmes* (Iguania: Liolaemidae) como una posible señal de calidad fenotípica. *Acta Zoológica Lilloana*, 53: 115-121.
- Salvador, A., J. P. Viega, J. Martin, P. Lopez, M. Abelenda, y Puerta, M. 1996. The cost of producing a sexual signal: testosterone increases the susceptibility of male lizards to ectoparasitic infestation. *Behavioral Ecology* 7:145–150.
- Salvador, A., Veiga, J. P. y Civantos, E. 1999. Do skin pockets of lizards reduce the deleterious effects of ectoparasites? An experimental study with *Psammodromus algirus*. *Herpetologic*. 55: 1-7.
- Sasa, M. 1961. Biology of Chiggers. *Annual Review of Entomology*, 6: 221–244
- Schall, J. J, Prendeville, H. R. y Hanley, K. A. 2000. Prevalence of the tick, *Ixodes pacificus*, on Western fence lizards, *Sceloporus occidentalis*: Trends by gender, size, season, site, and mite infestation. *J. Herpetol.* 34: 160-163.
- Sites Jr., J. W., Archie, J. W., Cole, C. J. y Flores-Villela, O. 1992. A review of phylogenetic hypotheses for lizards of the genus *Sceloporus* (Phrynosomatidae): implications for ecological and evolutionary studies. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 213: 1-110.
- StatSoft, Inc .2011. STATISTICA (version 10.0). Tulsa, OK: StatSoft, Inc.
- Stuart–Fox, D. M. y Ord, T. J. 2004. Sexual selection, natural selection and the evolution of dimorphic coloration and ornamentation in agamid lizards. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 271: 2249-2255.
- Trullas, S. C., van Wyk, J. H. y Spotila, J. R. 2007. Thermal melanism in ectotherms. *Journal of thermal biology*, 32: 235-245.

- Vera-Ramírez, F. D. 2023. Estimación de la erosión hídrica de Santiago Tulantepec a través de la EUPSR integrada a SIG. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
- Villagrán-Santa Cruz, M., Hernández-Gallegos, O. y Méndez-de la Cruz, F. R. 2009. Reproductive cycle of the lizard *Sceloporus mucronatus* with comments on intraspecific geographic variation. *Western North American Naturalist*, 69(4), 437-446.
- Walter, D. E. y Krantz, G. W. 2009. Collection, rearing, and pre-paring specimens. En G.W. Krantz y D.E. Walter (Eds.), *A manual of acarology* (3th Ed., pp. 83-96). Texas Tech University Press.
- Zapata, R. 2012. Artrópodos como ectoparásitos y vectores de microorganismos relacionados con el proceso de infección–salud-enfermedad en animales de producción, animales de compañía y humanos. *Hechos Microbiológicos*, 3: 63-66.
- Zippel, K. C., Powell, R., Parmerlee, J. S., Monks, S., Lathrop, A. y Smith, D. D. 1996. The distribution of larval *Eutrombicula alfreddugesi* (Acari: Trombiculidae) infesting *Anolis* lizards (Lacertilia: Polychrotidae) from different habitats on Hispaniola. *Caribbean Journal of Science*, 32: 43-49.

CAPITULO III

**Ecología trófica y su relación con
algunos rasgos morfométricos en dos
poblaciones de *Sceloporus mucronatus*
(Squamata: Phrynosomatidae)**

I. RESUMEN

La relación entre morfología y ecología trófica constituye un eje central para comprender los procesos adaptativos que moldean la historia evolutiva de los reptiles, donde las dimensiones del cráneo influyen directamente en la capacidad de procesar presas de diferente tamaño, dureza y evasividad (capacidad para escapar). En este estudio se analizaron algunos rasgos morfométricos y dieta de *Sceloporus mucronatus* en dos poblaciones del estado de Hidalgo, México (La Estanzuela y Santa Ranas), considerando ambos sexos y las temporadas de lluvias y secas, con el fin de evaluar si la morfología (talla y dimensiones de la cabeza) y factores ambientales modulan la ecología trófica. Para cada presa se calculó el volumen, el índice de importancia relativa y se clasificaron por dureza y evasividad. Adicionalmente, se calcularon la amplitud y solapamiento de nicho trófico entre sexos. Los resultados mostraron que en La Estanzuela las hembras presentaron longitudes de cabeza menores que la de los machos, sin embargo, en ninguna población se registraron diferencias significativas en la dieta entre poblaciones ni entre temporadas, lo que sugiere un patrón alimentario constante en espacio y tiempo. En ambas localidades y a lo largo del año, los coleópteros fueron la presa “fundamental”, reflejando su importancia como recurso clave en la dieta de la especie. Asimismo, se observó un alto solapamiento de nicho trófico entre sexos y una baja amplitud de nicho, lo que indica especialización y convergencia en el aprovechamiento de recursos alimenticios. En conjunto, estos hallazgos sugieren que, a pesar de presentar dimorfismo en las dimensiones de la cabeza, *S. mucronatus* mantiene una dieta homogénea entre poblaciones, temporadas y sexos, posiblemente debido a la disponibilidad y rentabilidad energética de los coleópteros. Este patrón resalta la estrecha relación entre morfología, disponibilidad de recursos y estrategias tróficas en lagartijas.

Palabras clave: dimorfismo sexual, divergencia de nicho, forrajeo óptimo, estacionalidad

II. INTRODUCCIÓN

La relación entre morfología y ecología trófica constituye un eje central para comprender los procesos adaptativos que han moldeado la historia evolutiva de los organismos, dado que la forma de las especies está estrechamente vinculada con el tipo de presas que consumen (Kiltie, 1982; Zárate-Hernández *et al.*, 2007). En lagartijas, variables como la altura y el ancho de la cabeza, así como dimensiones de la mandíbula, determinan la magnitud de la fuerza de mordida y, por ende, la capacidad de procesar presas de diferente tamaño y dureza (Herrel *et al.*, 1999; Galindo-Gil *et al.*, 2015). Especies con cabezas robustas generan mordidas más potentes, permitiéndoles incluir presas grandes, evasivas o de exoesqueleto rígido, mientras que aquellas con cabezas más alargadas presentan ventajas en la captura de presas sedentarias y suaves (Galindo-Gil *et al.*, 2015). Este patrón sugiere que la morfología craneal refleja un balance entre la disponibilidad de presas y las exigencias funcionales de su procesamiento (Herrel *et al.*, 1999; Metzger y Herrel, 2005).

En el género *Sceloporus*, la dieta se caracteriza principalmente por el consumo de artrópodos, aunque con variaciones entre especies, localidades y estaciones. Los órdenes como Hemiptera, Araneae, Hymenoptera y Coleoptera constituyen los principales componentes de la dieta, además de materia vegetal en menor proporción, y en algunos casos también se consumen presas menos frecuentes como moluscos o incluso otras lagartijas (Lemos-Espinal y Ballinger, 1996; Leyte-Manrique y Ramírez-Bautista, 2010; Puga y Colmenares *et al.*, 2019).

Por ejemplo, en *Sceloporus minor* se ha documentado que los morfos rojo y amarillo no difieren significativamente en medidas craneales y su dieta está dominada por Coleoptera, Orthoptera y material vegetal durante todo el año, con baja amplitud y alto solapamiento de nicho trófico entre morfos (García-Rosales *et al.*, 2019). De manera similar, en *S. mucronatus*, ambos sexos consumen principalmente larvas de lepidópteros y coleópteros adultos, manteniendo la presencia constante de materia vegetal a lo largo del año, lo que indica una dieta omnívora (Cruz, 1996); por otro lado, la cantidad de alimento ingerido varía estacionalmente, disminuyendo en invierno con un aumento del consumo de

materia vegetal y alcanzando los mayores volúmenes estomacales en verano, reflejando ajustes en la ecología trófica vinculados a la disponibilidad de recursos y a las demandas fisiológicas, como la recuperación de la energía de las hembras invertida en la gestación (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1992).

De acuerdo con la teoría del forrajeo óptimo, los organismos seleccionan presas que maximizan la ganancia energética en relación con el esfuerzo invertido en su captura y procesamiento (Pyke, 1984; Pyke y Starr, 2021). En algunos sceloporinos este principio se manifiesta en dietas flexibles que incluyen tanto presas animales como materia vegetal, lo que refleja una estrategia de aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles. La variación en el nicho trófico entre individuos y poblaciones sugiere, además, la existencia de tácticas de forrajeo adaptativas que reducen la competencia intraespecífica y facilitan la explotación de distintos microhábitats y tipos de presas (Van Valen, 1965; Costa *et al.*, 2008). En este sentido, factores como la disponibilidad estacional de recursos, la preferencia alimenticia y las características funcionales asociadas a la morfología craneal (como la fuerza de mordida) interactúan para modular la dieta de los individuos. De esta manera, la ecología trófica y la morfología se encuentran estrechamente integradas, determinando las estrategias de vida y el éxito ecológico de las lagartijas (McBrayer, 2004; McBrayer y Corbin, 2007).

Esta plasticidad alimentaria convierte a los sceloporinos en un modelo ideal para evaluar cómo la morfología responde a presiones ecológicas vinculadas a las características de las presas consumidas, por lo que *Sceloporus mucronatus* representa un buen modelo para explorar la interacción entre morfología y ecología alimentaria. Su dieta omnívora dominada por artrópodos y complementada con materia vegetal (Cruz, A. 1996), y su adaptación a sistemas montañosos húmedos ofrecen una oportunidad para comprender cómo la ecología trófica y las demandas mecánicas impuestas por el tipo de presa han moldeado la morfología de la especie. Por lo que, en este trabajo se evalúa la talla (LHC), índice de condición física y dimensiones de la cabeza y relacionar estos datos morfométricos con la dieta de

machos y hembras dos poblaciones de *S. mucronatus* distribuidas el estado de Hidalgo.

Se espera que la forma de la cabeza y la talla corporal se relacionan con el tipo de presas consumidas, de modo que individuos con cabezas más grandes consumirán con mayor frecuencia presas de mayor tamaño y dureza en comparación con los individuos de cabeza más pequeña. Asimismo, se espera que la dieta varíe entre temporadas, lo que favorecería una mayor amplitud de nicho trófico, pero con un solapamiento de nicho trófico elevado entre sexos y reducido entre poblaciones.

III. MÉTODO

Sitios e estudio

El trabajo de campo se realizó en dos localidades del estado de Hidalgo: La Estanzuela, Mineral del Chico (LE; 10°10'43.12" N, 98°45'40.70" O) y Canta Ranas, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero (CR; 19°59'05.27" N, 98°21'52.34" O). La Estanzuela se encuentra a 2,800 msnm y presenta vegetación de bosque de pino y pino-encino (Rzedowski, 1978), con temperatura media anual de 15 °C y precipitación promedio de 1,605 mm (INAFED). El área de estudio se caracteriza por un dosel cerrado, cobertura arbustiva y rocas medianas de hasta 70 cm de altura distribuidas de manera aleatoria. Canta Ranas se ubica a 2600 msnm, con vegetación de bosque de coníferas y áreas de cultivo; la temperatura ambiental varía entre 10 y 15 °C y la precipitación anual de 500 a 850 mm (INAFED, 2011; Vera-Ramírez, 2023). El sitio de muestreo corresponde a una zona abierta con presencia de dos jagüeyes temporales y rocas medianas de hasta 50 cm de altura dispersas en el terreno.

Muestreo

En cada localidad se realizaron muestreos mensuales durante la temporada de lluvias, correspondiente al periodo reproductivo, de agosto a octubre de 2023, y durante la temporada seca, considerada no reproductiva, de febrero a abril de 2024. Las colectas se efectuaron mediante recorridos de 0800 a 1400 hrs con el fin de capturar el mayor número posible de individuos (Casas-Andreu *et al.*, 1991).

Los individuos de *S. mucronatus* fueron capturados directamente con la mano y, a cada ejemplar se le registró el sexo con base en la presencia de escamas postanales agrandadas en machos (Sites *et al.*, 1992), la longitud hocico-cloaca (LHC, de la punta del hico al margen de la cloaca), y el largo (LCa, de la punta del hocico a la base de la cabeza) y ancho (ACa, a la altura de los timpanos) de la cabeza, las cuales fueron medidas con un calibrador digital de precisión 0.01 mm, todas las mediciones se realizaron colocando a los individuos en posición ventral y utilizando las extremidades derechas. El peso corporal, fue obtenido con una báscula marca Pesola TS632 de 100 g con precisión de 0.1 g. Asimismo, cada individuo fue clasificado en una categoría de edad a partir de su LHC, considerándose juveniles aquellos con ≤ 63 mm y adultos > 63 mm (Ortega-León *et al.*, 2007).

Para determinar el tipo de dieta, posterior a la captura, se realizó una extracción del contenido estomacal evitando así el sacrificio de los individuos, por lo que, se aplicó la técnica de regurgitación (Legler y Sullivan, 1979), para esto, se tomó a la lagartija orientando la cabeza hacia abajo sobre un recipiente de un litro y se le introdujo vía oral una sonda hasta la altura del estómago, utilizando una jeringa conectada a esta sonda, se procedió a inyectar máximo un total de 24 ml de agua hasta conseguir que la lagartija regurgitará el alimento (Figura 1), una vez que obtuvimos el agua con el contenido estomacal, este se pasó por papel filtro, en donde el agua escurría y la muestra se quedaba en el papel, estas muestras se tomaron con pinzas y se almacenaron y conservaron en frascos con alcohol al 70% para su futura examinación en laboratorio (Pinto-Aguirre, 2014; Guzmán-Torres, 2021).

En laboratorio, la muestra de contenido estomacal de cada individuo fue colocada en una caja Petri, con el contenido estomacal se formó una pelota a la cual se le midió el largo y ancho. Posteriormente, con ayuda de un microscopio estereoscópico cada presa se identificó hasta nivel de orden utilizando las claves taxonómicas de Triplehorn y Johnson (2005), los himenópteros se clasificaron en himenópteros (excluyendo formícidos) y formícidos, los insectos holometábolos se

clasificaron en larvas (L) y adultos (A), la materia vegetal como hojas, semillas y tallos se consideró como una sola categoría (materia vegetal) (García-Rosales *et al.*, 2019; Puga y Colmenares *et al.*, 2019).



Figura 1. Técnica de regurgitación para la extracción de contenido estomacal

Análisis estadístico

Para evaluar y comparar la morfometría entre sexos y poblaciones, solo se tomaron en cuenta los individuos adultos. Respecto a la dieta, se tomaron en cuenta juveniles y adultos. Se usó el método aplicado por Hernández-Salinas *et al.* (2016) y Puga y Colmenares *et al.* (2019), por lo que, para calcular el volumen (V) de la presa se utilizó la fórmula de un elipsoide (Duré *et al.*, 2019):

$$V=4/3\pi(l/2)(w/2)^2$$

Donde l es el largo de la presa y w el ancho de la presa.

Para analizar la importancia alimentaria, para cada categoría alimenticia (tipos de presas y materia vegetal), se calculó el índice de importancia relativa (IRI) (Biavati *et al.*, 2004):

$$IRI= (%F+%N+%V)/3$$

Donde %F es el porcentaje de frecuencia, %N es el porcentaje numérico, y %V es el porcentaje volumétrico tomando como el 100% el total de los datos.

Debido a que ningún grupo de datos obtenidos presentaron una distribución normal (ni en morfometría ni en dieta), estos fueron comparados entre sexos y poblaciones mediante pruebas de Mann-Whitney (Méndez-de La Cruz *et al.*, 1992).

Debido a que las categorías de materia vegetal representan una estructura de alguna planta, en todos los casos el valor de N fue igual a 1. Esto se realizó para cada temporada, sexo y población, y el total de datos (todos los individuos). Adicionalmente, para saber las características de las presas consumidas, a cada presa se le asignó una categoría de dureza (duro, intermedio o suave) y evasividad (evasivo, intermedio o sedentario) de acuerdo a la clasificación de Vanhooydonck *et al.* (2007) y se sumaron los IRI de cada categoría.

Para analizar la amplitud de nicho (B_A), se calculó el índice estandarizado de Levin:

$$B_A= ((1/\sum p_i^2)-1)/n-1$$

Donde p_i es la proporción de la categoría con respecto al total de presas encontradas en cada grupo (para este estudio: machos y hembras en temporada de lluvias y secas) y n es el número de categoría tróficas de los individuos (Hurlbert, 1978).

El solapamiento de nicho trófico (O_{jk}) de los sexos, se obtuvo calculando el índice de Pianka (1986):

$$O_{jk} = \frac{\sum_{i=0}^n P_{ij}P_{ik}}{\sqrt{\sum_{i=0}^n P_{ij}^2 P_{ik}^2}}$$

Donde p_{ij} y p_{ik} son las proporciones de presas pertenecientes a cada categoría.

Los índices de Levin y Pianka se analizaron mediante el software Ecological Methodology 6.1.1 (Krebs, 2003).

IV. RESULTADOS

Morfometría

Se capturaron 76 individuos adultos de *Sceloporus mucronatus*, 40 en La Estanzuela (21 machos y 19 hembras) y 36 en Canta Ranas (13 machos y 23 hembras). La LHC no mostró diferencias significativas entre sexos ni entre poblaciones. En contraste, se detectaron variaciones en las dimensiones de la cabeza. En LE, las hembras presentaron proporciones del LCa significativamente menor en comparación con los machos de su misma población y con las hembras de CR. Por otro lado, el ACa fue menor en los machos de LE respecto a los de CR (Tabla 1).

El ICF no difirió significativamente entre sexos dentro de cada población ($P > 0.05$ en ambos casos). Sin embargo, la estacionalidad afectó a los machos de LE, cuyo ICF fue menor en la temporada seca (17.92 ± 2.59 , $n = 6$) que en la de lluvias (25.37 ± 5.62 , $n=15$; $U=12$, $P=0.011$). A pesar de esta reducción, no se observaron diferencias significativas en el ICF entre sexos cuando se analizaron por

separado las temporadas ($P>0.05$ en ambos casos). Finalmente, al comparar entre poblaciones, se encontró que, en LE el ICF de machos y hembras fue menor que el de CR ($P<0.05$ para ambos sexos; Tabla 1).

Por otra parte, la LHC mostró una correlación positiva y significativa con el volumen del contenido estomacal en ambas poblaciones durante la temporada de lluvias (LE, $r_s=0.49$, $P=0.004$; CR, $r_s=0.53$, $P=0.001$), indicando que los individuos de mayor tamaño corporal presentaron un mayor volumen de alimento en el estómago. Este patrón fue consistente en las dos localidades analizadas durante dicho periodo. En contraste, durante la temporada seca no se detectó asociación estadísticamente significativa entre la LHC y el volumen de contenido estomacal en ninguna población ($P>0.05$ en ambos casos).

Tabla 1. Comparación mediante pruebas de U de Mann-Whitney entre longitud hocico-cloaca (LHC), largo de la cabeza (LCa) y ancho de la cabeza (ACa) entre machos y hembras de dos poblaciones de *Sceloporus mucronatus*. Los valores estadísticamente significativos están marcados con asterisco (*) y en negritas.

		La Estanzuela	Canta Ranas	
LHC	Machos	72.72±8.13, n=21	82.88±14.25, n=13	U=126, P=0.722
	Hembras	71.91±6.99, n=19 U=192, P=0.849	78.26±13.8, n=23 U=137, P=0.692	U=192, P=0.849
LCa	Machos	15.91±1.97, n=21	16.61±2.85, n=13	U=126, P=0.722
	Hembras	14.51±1.69, n=19 U=116.5, P=0.025*	16.47±1.96, n=23 U=147.5, P=0.96	U=100.5, P=0.002*
ACa	Machos	16.51±2.15, n=21	19.12±3.58, n=13	U=78, P=0.039
	Hembras	15.93±2.06, n=19 U=167.5, P=0.393	17.33±2.05, n=23 U=108.5, P=0.182	U=135, P=0.035
ICF	Machos	23.24±5.97, n=21	30.83±9.59, n=13	U=71, P=0.021*
	Hembras	22.37±5.56, n=19 U=184, P=0.684	30.7±9.58, n=23 U=148.5, P=0.973	U=110, P=0.006*

Composición de la dieta

Se analizó el contenido estomacal de 119 individuos, identificándose un total de 1131 presas a nivel de orden. En ambas poblaciones y sexos, los coleópteros adultos fueron el grupo con el valor más alto del índice de importancia relativa (IRI=30.99; Tabla 2), por lo que se consideran la presa fundamental en la dieta de *S. mucronatus* (Figura 2). Los himenópteros (IRI=18.83) ocuparon el segundo lugar en importancia, siendo clasificados como presas secundarias. Finalmente, las Araneae (IRI=10.46), Formicidae (IRI=11.42) y la materia vegetal (IRI = 13.92) se ubicaron como presas accesorias en la dieta (Tabla 2, Figura 2).

Tabla 2. Composición de dieta del total de individuos. Se muestran los porcentajes del número (%), volumen (%V), frecuencia de ocurrencia (%F) e índice de importancia relativa (IRI) para cada categoría trófica. Para los insectos holometábolos se muestran adultos (A) y larvas (L).

Categoría trófica		Total de individuos (n=119)			
		%V	%N	%F	IRI
Arachnida					
	Acari	0.0002	0.44	0.53	0.32
	Araneae	9.57	6.81	15.00	10.46
	Pseudoscorpionida	0.03	0.09	0.26	0.13
Chilopoda					
	Geophilomorpha	0.01	0.09	0.26	0.12
Gastropoda					
	Stylommatophora	0.02	0.35	0.53	0.30
Insecta					
	Coleoptera (A)	28.05	41.87	23.06	30.99
	Coleoptera(L)	0.5	0.98	2.9	1.45
	Dermaptera	0.01	0.18	0.26	0.15
	Diptera	0.05	0.62	1.32	0.66
	Formicidae	2.86	20.07	11.32	11.42
	Hemiptera	1.51	4.16	4.74	3.47

	Homoptera	0.02	0.18	0.53	0.24
	Hymenoptera	27.88	14.15	14.47	18.83
	Isoptera	0.004	0.27	0.26	0.18
	Lepidoptera (A)	0.57	0.27	0.26	0.37
	Lepidoptera (L)	5.08	2.21	4.47	3.92
	Odonata	0.08	0.27	0.53	0.29
	Orthoptera	1.88	0.62	1.32	1.27
Malacostraca					
	Isopoda	1.55	1.15	1.84	1.51
Otros					
	Materia vegetal	20.31	5.39	16.05	13.92

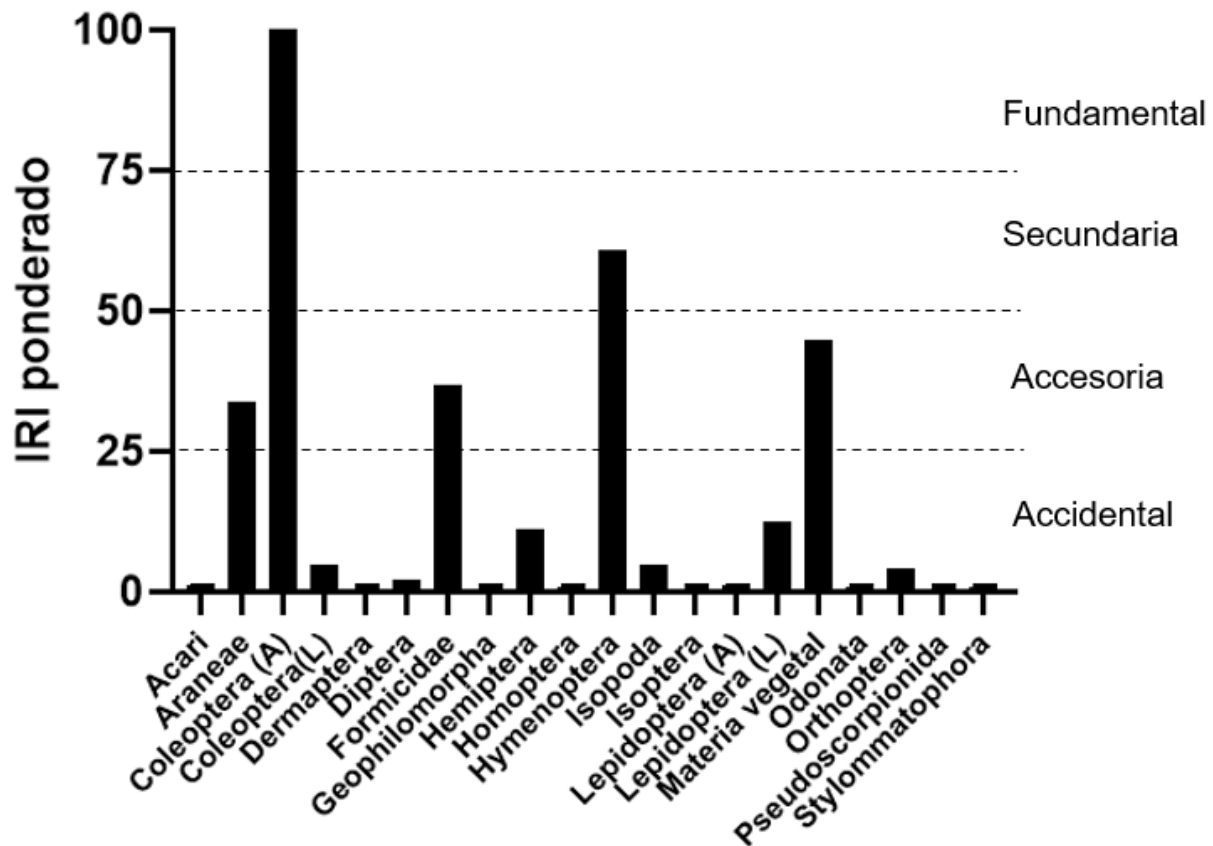


Figura 2. Clasificación jerárquica de presas consumidas de acuerdo al Índice de importancia relativa (IRI) ponderado propuesto por Aun et al., 1999, en donde la presa con mayor IRI se considera el 100%, en este caso Coleoptera (A). Los insectos holometábolos se separan por larvas (L) y adultos (A).

En la población de La Estanzuela (LE), durante la temporada de lluvias se analizó el contenido estomacal de 33 individuos (20 machos y 13 hembras), en los que se identificaron 12 categorías alimenticias (Tabla 3). En los machos se registraron las 12 categorías, siendo Coleoptera (A) la de mayor índice de importancia relativa ($IRI = 34.24$), mientras que Geophilomorpha ($IRI = 0.51$) y Lepidoptera (A) ($IRI = 0.53$) presentaron los valores más bajos, al encontrarse un solo individuo de cada una. En hembras se identificaron ocho categorías, destacando también Coleoptera (A) como la presa más importante ($IRI = 54.52$, donde Formicidae ($IRI = 2.96$) y Coleoptera (L) mostraron los valores más bajos de IRI. La materia vegetal (tallos, hojas, flores y/o semillas) fue consumida en ambos

sexos, con mayor importancia en machos (IRI = 12.43) que en hembras (IRI = 6.69; Tabla 3).

Durante la temporada seca, el número de categorías alimenticias se redujo a siete, tanto en machos como en hembras. En ambos sexos, las presas con mayor IRI fueron Formicidae, seguidas por Coleoptera (A). En este periodo, el consumo de materia vegetal se incrementó con respecto a las lluvias, alcanzando valores similares entre sexos (machos IRI = 18.03; hembras IRI = 18.25). En contraste, Coleoptera (L) representó la presa de menor importancia relativa para ambos sexos (Tabla 3).

Tabla 3. Composición de dieta de machos y hembras de La Estanzuela en temporada de lluvias y secas. Se muestran los porcentajes del número (%), volumen (%V), frecuencia de ocurrencia (%F) e índice de importancia relativa (IRI) para cada categoría trófica. Para los insectos holometábolos se muestran adultos (A) y larvas (L).

Categoría de presa		Lluvias							
		Machos (n=20)				Hembras (n=13)			
		%V	%N	%F	IRI	%V	%N	%F	IRI
Arachnida									
	Araneae	7.63	7.19	17.44	10.75	3.05	2.35	6.25	3.89
Chilopoda									
	Geophilomorpha	0.03	0.34	1.16	0.51	0	0	0	0
Insecta									
	Coleptera	32.41	39.38	17.44	29.75	67.6	55.3	40.63	54.52
	Coleoptera (L)	0	0	0	0	0.71	2.35	6.25	3.1
	Hymenoptera	20.04	12.67	13.95	15.55	4.36	4.71	9.38	6.15
	Hemiptera	0.1	1.71	5.81	2.54	1.25	23.5	9.38	11.38
	Lepidoptera	0.1	0.34	1.16	0.53	0	0	0	0
	Lepidoptera (L)	11.54	3.77	6.98	7.43	20.1	4.71	9.38	11.41
	Formicidae	2.82	25.68	10.47	12.99	0.29	2.35	6.25	2.96
	Orthoptera	6.82	1.71	3.49	4.01	0	0	0	0
	Coccinellidae	0.41	1.37	3.49	1.76	0	0	0	0
Malacostraca									
	Isopoda	0.39	1.37	3.49	1.75	0	0	0	0
Otros									
	Materia vegetal	17.73	4.45	15.12	12.43	2.56	4.71	12.5	6.59

		Secas							
Categoría de presa		Machos (n=7)				Hembras (n=11)			
		%V	%N	%F	IRI	%V	%N	%F	IRI
Arachnida									
	Araneae	0	0	0	0	10.3	3.49	9.09	7.62
Insecta									
	Coccinellidae	3.38	3.17	11.11	5.89	0	0	0	0
	Coccinellidae (L)	4.28	1.59	5.56	3.81	1	1.16	4.55	2.24
	Coleoptera	22.48	22.22	22.22	22.31	47.9	22.1	22.73	30.91
	Formicidae	34.03	49.21	22.22	35.15	19.1	59.3	18.18	32.21
	Hymenoptera	24.6	14.29	5.56	14.81	3.15	3.49	9.09	5.24
Malacostraca									
	Isopoda	0	0	0	0	3.71	2.33	4.55	3.53
Otros									
	Materia vegetal	11.24	9.52	33.33	18.03	14.8	8.14	31.82	18.25

La amplitud de nicho en los machos fue mayor en temporada de lluvias que en la de secas, mientras que en hembras fue similar entre temporadas (Tabla 4), el solapamiento de nicho trófico entre sexos fue menor en la temporada de lluvias ($O_{ik}=0.794$) que en secas ($O_{jk}=0.953$, Tabla 5). La mayoría de las categorías tróficas consumidas correspondieron a ítems de consistencia dura en ambos sexos y temporadas. Sin embargo, durante la temporada seca se observó una ligera disminución en la dureza de las presas consumidas por machos y hembras, las cuales fueron reemplazadas en mayor proporción por presas suaves. De manera consistente, en ambos sexos y temporadas, aproximadamente la mitad de las presas correspondieron a presas con evasividad intermedia, seguidas por aquellas sedentarias, mientras que el consumo de presas evasivas fue reducido (Tabla 6).

Los volúmenes de contenido estomacal fueron diferentes entre sexos durante la temporada de lluvias, donde los machos ($1,517.27 \pm 1,432 \text{ mm}^3$) presentaron volúmenes de contenido estomacal superiores a los de las hembras (206.96 ± 304.29 , $U=56$, $P=0.006$); mientras que, durante la temporada de secas, no se encontraron diferencias significativas.

Tabla 4. Amplitud de nicho trófico de las poblaciones de La Estanzuela y Canta Ranas durante las temporadas de lluvias y secas

	La Estanzuela		Canta ranas	
	Machos	Hembras	Machos	Hembras
Lluvias	0.273	0.237	0.232	0.239
Secas	0.421	0.24	0.576	0.234

Tabla 5. Sobrelapamiento de nicho trófico en las poblaciones de La Estanzuela (LE) y Canta Ranas (CR), sobre la línea se muestra la temporada de lluvias y debajo de ésta la temporada de secas

	Machos	Hembras	Machos	Hembras
	LE	LE	CR	CR
Machos LE	-	0.794	0.893	0.936
Hembras LE	0.973	-	0.962	0.849
Machos CR	0.705	0.571	-	0.958
Hembras CR	0.688	0.612	0.883	-

Tabla 6. Índice de importancia relativa (IRI) por grado de dureza y evasividad de presas consumidas por machos y hembras durante temporada de lluvias y secas en las poblaciones de La Estanzuela y Cantarranas. La dureza y evasividad de cada presa se categorizó de acuerdo a Vanhooydonck et al. (2007).

		La Estanzuela			
		Lluvias		Secas	
		machos	hembras	machos	hembras
Dureza	Duro	72.47	70.22	96.19	86.61
	Intermedio	4.01	0	0	0
	Suave	23.51	29.78	3.81	13.39
Evasividad	Evasivo	16.08	6.15	14.81	5.24
	Intermedio	51.55	68.86	63.35	63.12
	Sedentario	32.36	24.99	21.84	31.64

		Canta Ranas			
		Lluvias		Secas	
		machos	hembras	machos	hembras
Dureza	Duro	72.12	71.27	69.04	79.67
	Intermedio	0	1.2	0	4.45
	Suave	29.83	27.69	30.97	13.83
Evasividad	Evasivo	16.07	21.53	31.81	37.75
	Intermedio	47.87	49.03	33.16	35.1
	Sedentario	38.01	29.6	35.04	25.1

Por otra parte, en la población de CR se examinó el contenido estomacal de 68 individuos, 35 en temporada de lluvias y 33 en temporada de secas. Se registraron un total de 19 categorías alimenticias (Tabla 7). Durante la temporada de lluvias, se registraron un total de 15 categorías de presas, de éstas, 13 se observaron en machos y 13 en hembras, compartiendo 10 categorías. En ambos sexos, Coleoptera fue la presa con IRI más alto (machos IRI=30.76, hembras=IRI=38.6), la presa con menor IRI, en machos fue Díptera (IRI=0.98) y en hembras fueron Pseudoscorpionida (IRI=0.64) e Isoptera (IRI=0.89).

El número de categorías de presas disminuyó en la temporada de secas, en donde se registraron 11 categorías, 6 en machos y 11 en hembras. En machos y hembras, la presa con un IRI más alto fue Coleoptera (machos IRI=21.61, hembras=IRI=24.51) y el más bajo fue Hemiptera (machos IRI=2.88, hembras IRI=0.65) (Tabla 7).

La mayoría de las categorías tróficas consumidas correspondieron a ítems de consistencia dura, patrón que se mantuvo uniforme entre sexos y temporadas. Las categorías con dureza intermedia fueron poco representadas en la dieta de las hembras y estuvieron ausentes en la de los machos. Durante la temporada seca, aproximadamente la mitad de los ítems consumidos presentaron evasividad intermedia, seguidos en frecuencia por organismos sedentarios y, en menor proporción, por organismos altamente evasivos. En contraste, durante la temporada de lluvias los valores de dureza se mantuvieron similares entre machos y hembras (Tabla 6).

La amplitud de nicho trófico, en machos fue mayor en secas ($B_A=0.576$) que en lluvias ($B_A=0.232$), en hembras la amplitud fue similar entre temporadas (Tabla 4), mientras que el solapamiento de nicho trófico entre sexos fue ligeramente mayor en la temporada de lluvias ($O_{jk}=0.958$) que en secas ($O_{jk}=0.883$, Tabla 5).

Por otra parte, durante las lluvias, machos y hembras presentaron volúmenes de contenido estomacal similares (machos= 1552.29 ± 2164.44 , hembras= 1818.89 ± 1737.16 , $U=113$ $P=0.504$). En la temporada de secas los volúmenes disminuyeron (machos= 494.09 ± 430.94 , hembras= 470.25 ± 590.71) respecto a la temporada de lluvias; sin embargo, estas diferencias solo fueron significativa en las hembras ($U=128$, $P=0.004$).

Tabla 7. Composición de dieta de machos y hembras de Canta Ranas en temporada de lluvias. Se muestran los porcentajes del número (%), volumen (%V), frecuencia de ocurrencia (%F) e índice de importancia relativa (IRI) para cada categoría trófica. Para los insectos holometábolos se muestran adultos (A) y larvas (L).

Categoría trófica		Lluvias							
		Machos (n=13)				Hembras (n=22)			
		%V	%N	%F	IRI	%V	%N	%F	IRI
Arachnida									
	Araneae	6.69	5.47	12.77	8.31	20.67	10.48	21.33	17.49
	Pseudoscorpionida	0	0	0	0	0.14	0.44	1.33	0.64
Gastropoda									
	Stylommatophora	0.19	3.13	4.26	2.52	0	0	0	0
Insecta									
	Coleoptera (A)	22.35	50.78	19.15	30.76	49.47	43.67	22.67	38.6
	Coleoptera (L)	0.06	0.78	2.13	0.99	1.33	1.31	4	2.21
	Dipera	0.02	0.78	2.13	0.98	0.02	0.87	2.67	1.19
	Formicidae	1.68	6.25	10.64	6.19	0.72	11.35	10.67	7.58
	Hemiptera	9.05	10.94	12.77	10.92	1.79	2.18	2.67	2.21
	Hymenoptera	10.45	14.06	14.89	13.14	19.58	21.83	16	19.14
	Isoptera	0	0	0	0	0.02	1.31	1.33	0.89
	Lepidoptera (A)	2.31	0.87	2.67	1.95	0	0	0	0
	Lepidoptera (L)	4.25	3.13	8.51	5.29	3.89	2.62	5.33	3.95
	Orthoptera	0	0	0	0	0.06	0.87	2.67	1.2

Malacostraca									
	Isopoda	1.26	0.78	2.13	1.39	0	0	0	0
Otros									
	Materia vegetal	44	3.91	10.64	19.51	9	2.18	6.67	5.95
Secas									
Categoría trófica		Machos (n=9)				Hembras (n=24)			
		%V	%N	%F	IRI	%V	%N	%F	IRI
Arachnida									
	Acari	0.01	10.91	17.39	9.44	0.001	2.7	2.78	1.83
	Araneae	27.64	10.91	17.39	18.65	2.24	7.03	15.28	8.18
Insecta									
	Coleoptera	12.31	30.91	21.74	21.65	10.59	44.86	18.06	24.51
	Coleoptera (L)	0	0	0	0	0.03	1.08	2.78	1.3
	Dermaptera	0	0	0	0	0.02	1.08	1.39	0.83
	Diptera	0	0	0	0	0.1	1.62	1.39	1.04
	Formicidae	2.64	14.55	8.7	8.63	0.79	14.05	12.5	9.11
	Hemiptera	0.66	3.64	4.35	2.88	0.03	0.54	1.39	0.65
	Hymenoptera	42.07	27.27	26.09	31.81	75.29	13.51	16.67	35.16
	Odonata	0	0	0	0	0.24	1.62	2.78	1.55
Malacostraca									
	Isopoda	0	0	0	0	2.67	3.24	2.78	2.9
Otros									
	Materia vegetal	14.67	1.82	4.35	6.95	7.59	7.03	18.06	10.89

V. DISCUSIÓN

Así como en otros vertebrados, en lagartijas, la forma de la cabeza se asocia estrechamente con la capacidad de mordida y con la eficiencia de manejo de presas duras o de gran tamaño, de modo que cabezas más altas o más robustas permiten consumir presas de mayor dureza, mientras que cráneos aplanados o menos altos brindan una ventaja para trepar y refugiarse sobre grietas (Herrel *et al.*, 2001a, b; Verwajen *et al.*, 2002). Este vínculo funcional entre morfología craneal, fuerza de mordida y tipo de presa ha sido documentado experimentalmente y comparativamente en múltiples estudios (Herrel *et al.*, 2001a; Galindo-Gil *et al.*, 2015).

Sin embargo, y pese a las diferencias morfométricas de la cabeza encontradas entre sexos y localidades, la composición de la dieta resultó ser similar, donde los coleópteros obtuvieron el IRI más alto y la ingesta de materia vegetal estuvo presente durante todo el año sin grandes diferencias entre sexos y poblaciones. Este patrón coincide con lo observado en otras especies de *Sceloporus* en México como *S. horridus* (Castro-Franco *et al.*, 2017), *S. minor* (García-Rosales *et al.*, 2019) y *S. torquatus* (Ortiz *et al.*, 2001), donde se reportan una alta frecuencia de consumo de coleópteros y/o formícidos, además de la presencia de materia vegetal.

Adicionalmente, la morfología también puede reflejar adaptación a microhábitats, donde las especies o poblaciones que explotan microhábitats verticales, como bardas o árboles, tienden a mostrar cuerpos y cabezas menos altas (más planas) que favorecen las maniobras (Galindo-Gil *et al.*, 2015; Tan *et al.*, 2021). En este contexto, si los individuos de ambas poblaciones difieren en el uso de microhábitats, parte de la variación morfológica interpoblacional podría deberse a selección natural por uso de microhábitat más que a diferencias en la dieta (Vanhooydonck *et al.*, 1999),

Esta falta de asociación entre dimensiones de la cabeza y composición de dieta ha sido reportada en algunas otras especies de lagartijas, en las que se discute que la dieta depende también de la disponibilidad de presas, la selectividad del depredador y el comportamiento de búsqueda, por lo que, las correlaciones entre forma y dieta pueden ser débiles o contextuales. Por ejemplo, en agámidos africanos (Agamidae) se ha observado que la morfología de la cabeza predice la fuerza de mordida, pero no necesariamente la dieta y la dureza de sus presas (Tan *et al.*, 2021); así mismo, en *Podarcis melisellensis* y *Lacerta oxycephala* se ha descrito que la eficiencia de manejo de presas podría ser un factor determinante en la selección de presas (Verwajen *et al.*, 2002).

Otra explicación de los patrones morfológicos observado, es la acción de la selección sexual y competencia intrasexual, donde el dimorfismo sexual en talla sesgado a machos frecuentemente se interpreta como un rasgo ligado a la

capacidad de combate y dominio territorial más que a la ecología trófica (Véase capítulo 1). Estudios sobre conducta muestran que cabezas más grandes y mayor fuerza de mordida, aumentan la probabilidad de éxito en los enfrentamientos (macho-macho) y, por ende, pueden ser favorecidas, aun cuando no modifiquen la dieta consumida (Huyghe *et al.*, 2005). Por ello, es posible que la mayor LCa en machos podría tener una explicación reproductiva/social en vez de una explicación trófica.

Por otra parte, el aumento relativo del consumo de materia vegetal durante la estación seca, puede interpretarse como una estrategia compensatoria, en la que a menor abundancia de artrópodos, los individuos incorporan más material vegetal a su dieta y reducen el volumen del contenido estomacal (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988), incluso en hembras, en donde el ICF en parte podría estar soportado por los embriones que almacenan durante esta temporada (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988; Villagrán-Santa Cruz *et al.*, 2009), aunque estudios previos han reportado que *S. mucronatus* es una especie que consume materia vegetal durante todo el año (Lemos-Espinal y Ballinger, 1996; Méndez-de la Cruz *et al.*, 1992), en este estudio se muestra que el mayor consumo de materia vegetal ocurre durante secas

La teoría del forrajeo óptimo predice que los individuos que depredan de forma solitaria tomarán decisiones que maximicen su ganancia energética neta, eligiendo presas, sitios y tiempos de caza en función del valor energético de las presas, el costo de su captura y la disponibilidad del recurso en el ambiente (Pyke, 1984; Pyke y Starr, 2021). En este contexto, se asume que la gran proporción de coleópteros consumidos muy probablemente se deba a la facilidad de su depredación, alto contenido energético y disponibilidad en el ambiente; por otra parte, cuando el alimento escasea, es sustituido con algunas otras presas, como formícidos e himenópteros, y materia vegetal, además, las presas con IRI más bajo probablemente fueron accidentales, como el caso de los ácaros de la especie *G. texana* encontrados en el contenido estomacal, que probablemente pudieron ser ingeridos durante el acicalamiento o peleas con otros individuos.

Ambos sexos presentaron un forrajeo diferente entre temporadas, por ejemplo, en el caso de las hembras, mostraron una estrategia de dieta cercana a una especie “especialista” (basándonos en la amplitud de nicho), mientras que los machos, durante la temporada seca, se volvieron más generalistas y disminuyó la riqueza de presas consumidas, es decir, consumieron menos diversidad de presas, pero en proporciones similares. Además, el sobrelapamiento de nicho en LE fue mayor en secas (probablemente debido a la disminución de cantidad de presas), mientras que en CR fue mayor durante las lluvias (cuando ambos sexos se encuentran muy activos en el forrajeo y probablemente haya mayor abundancia de presas, por lo que probablemente ambos sexos consumían presas de gran beneficio energético).

Si bien esto podría estar explicado por la hipótesis del forrajeo óptimo, otra explicación sería que cada sexo tiene distintos requisitos energéticos (hipótesis de variación de nicho) y estos podrían estar sujetos a estacionalidad (Van-Velen, 1965; Costa et al., 2008). Bajo este contexto, se entiende que la ecología trófica de *S. mucronatus* podría estar modulada por la disponibilidad de presas en el ambiente, costo de su captura, aporte energético de la presa y, posiblemente, requisitos energéticos diferenciales entre cada temporada.

En reptiles vivíparos del género *Sceloporus*, se ha observado que las hembras grávidas a menudo alteran su comportamiento térmico (seleccionando temperaturas corporales distintas o reduciendo la actividad) para optimizar el desarrollo embrionario; en muchos casos esto se traduce en temperaturas corporales más bajas o en cambios en la actividad durante la gestación (Schwarzkopf y Shine, 1991; Woolrich-Piña *et al.*, 2006), lo que reduce el tiempo y la eficiencia de forrajeo y puede explicar el menor volumen de contenido estomacal y la caída del ICF observada en hembras durante la estación seca/gestación.

VI. CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio muestran que la dieta de *Sceloporus mucronatus* en las poblaciones estudiadas está dominada por coleópteros, mostrando cambios estacionales, con una mayor incorporación de materia vegetal durante la temporada seca y una disminución en el volumen total consumido. El dimorfismo sexual observado en algunas dimensiones de la cabeza y en el índice de condición física (ICF), podrían estar respondiendo más a factores asociados con selección sexual o a la competencia intrasexual que, a una divergencia en el nicho trófico, dado que ambos sexos muestran un alto solapamiento y una amplitud de nicho relativamente bajo. Para profundizar en la comprensión de la interacción entre presiones tróficas, selección sexual y adaptación a microhábitats, y su relación con las dimensiones corporales, es necesario incorporar evaluaciones complementarias, como la disponibilidad de presas en cada población y temporada para contrastar selección frente a disponibilidad, la medición de la fuerza de mordida y de la eficiencia en el manejo de presas, así como el análisis del uso del hábitat por parte de individuos de ambas poblaciones y sexos.

VII. LITERATURA CITADA

- Aun, L., Martori, R. y Rocha, C. 1999. Variación estacional de la dieta de *Liolaemus wiegmanii* (Squamata: Tropiduridae) en un agroecosistema del sur de Córdoba, Argentina. Cuadernos de Herpetología,
- Biavati, G. M., H. C. Wiederhecker, y G. R. Colli. 2004. Diet of *Epipedobates flavopictus* (Anura: Dendrobatidae) in Neotropical savanna. Journal of Herpetology 38: 510–518.
- Casas-Andreu, G., López, V. y Ramírez-Bautista, A. 1991. Cómo hacer una colección de anfibios y reptiles. Cuadernos del instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Castro-Franco, R., Bustos-Zagal, M. G. y Trujillo-Jiménez, P. 2017. Diet composition of *Sceloporus horridus horridus* (Sauria: Phrynosomatidae) in tropical deciduous forest, Mexico. *Acta zoológica mexicana*, 33: 443-449.
- Costa, G. C., Mesquita, D. O., Colli, G. R. y Vitt, L. J. 2008. Niche expansion and the niche variation hypothesis: does the degree of individual variation increase in depauperate assemblages?. *The American Naturalist*, 172: 868-877.
- Cruz, A. 1996. Herbivory in the lizard *Sceloporus mucronatus mucronatus* (Sauria: Phrynosomatidae) in sierra del Ajusco, Distrito Federal, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 21: 183-191.
- Duré, M. I., Kehr A. I. y Schefer, E. F. 2009. Niche overlap and resource partition among five sympatric bufonids (Anura: Bufonidae) from northeastern Argentina. *Phyllomedusa* 8:27–39.
- Galindo-Gil, S., Rodríguez-Romero, F. D. J., Velázquez-Rodríguez, A. S. y Moreno-Barajas, R. 2015. Correlaciones morfológicas entre la forma de la cabeza, dieta y uso de hábitat de algunos *Sceloporus* de México: un análisis cuantitativo. *International Journal of Morphology*, 33: 295-300.
- García-Rosales, A., Cruz-Elizalde, R., Ramírez-Bautista, A. y Mata-Silva, V. 2019. Feeding ecology of two populations of *Sceloporus minor* (Squamata: Phrynosomatidae) inhabiting contrasting environments in central Mexico. *Salamandra*, 55.
- Guzmán-Torres, M. A. 2021. Ecología trófica de un ensamble de lagartijas en un bosque tropical caducifolio al noroeste de Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Hernández-Salinas, U., Ramírez-Bautista, A. y Cruz-Elizalde, R. 2016. Variation in feeding habits of the arboreal lizard *Anolis nebulosus* (Squamata: Dactyloidae) from island and mainland populations in Mexican Pacific. *Copeia*, 104: 831-837.

- Herrel, A., Damme, R. V., Vanhooydonck, B. y Vree, F. D. 2001a. The implications of bite performance for diet in two species of lacertid lizards. *Canadian Journal of Zoology*, 79: 662-670.
- Herrel, A., Meyers, J. J. Vanhooydonck, B. 2001b. Correlations between habitat use and body shape in a phrynosomatid lizard (*Urosaurus ornatus*): a population-level analysis. *Biological journal of the Linnean Society*, 74: 305-314.
- Herrel, A., Spithoven, L.; Van Damme, R. y De Vree, F. 1999. Sexual dimorphism of head size in *Gallotia galloti*: testing the niche divergence hypothesis by functional analyses. *Funct. Ecol.*, 13: 289-97.
- Hurlbert, H. S. 1978. The measurement of niche overlap and some relatives. *Ecology* 59:67–77.
- Huyghe, K., Vanhooydonck, B., Scheers, H., Molina-Borja, M. y Van Damme, R. 2005. Morphology, performance and fighting capacity in male lizards, *Gallotia galloti*. *Functional Ecology*, 800-807.
- INAFED. 2011. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: Los municipios del estado. Secretaría de gobernación. Obtenido de: <http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Santiago-Tulanpetec-Enciclopedia-De-Los-Municipios.pdf>
- INAFED. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: Los municipios del estado. Secretaría de gobernación. Obtenido de: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM13hidalgo/index.html>
- Kiltie, R. A. 1982. Bite force as a basis for niche differentiation between rain forest peccaries (*Tayassu tajacu* and *T. pecari*). *Biotropica*, 188-195.
- Krebs C. J. 2003. Ecological methodology. Vancouver, Canadá.
- Legler, J.M. y Sullivan, L.G. 1979. The application of stomach-flushing to lizards and anurans. *Herpetologica*, 35: 107-110.

- Lemos-Espinal, J. A. y Ballinger, R. E. 1996. Herbivory in the lizard *Sceloporus mucronatus mucronatus* (Sauria: Phrynosomatidae) in sierra del Ajusco, Distrito Federal, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 21: 183-191.
- Lemos-Espinal, J. A. y Ballinger, R. E. 1996. Herbivory in the lizard *Sceloporus mucronatus mucronatus* (Sauria: Phrynosomatidae) in sierra del Ajusco, Distrito Federal, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 21: 183-191.
- Leyte-Manrique, A. y Ramírez-Bautista, A. 2010. Diet of two populations of *Sceloporus grammicus* (Squamata: Phrynosomatidae) from Hidalgo, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 55: 98-103.
- McBrayer, L. D. 2004. The relationship between skull morphology, biting performance and foraging mode in Kalahari lacertid lizards. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 140: 403-416.
- McBrayer, L. D. y Corbin, C. E. 2007. Patterns of head shape variation in lizards: morphological correlates. *Lizard ecology*, 271.
- Méndez-de la Cruz, F. R. M., Guillette Jr, L. J., Santa Cruz, M. V. y Casas-Andreu, G. 1988. Reproductive and fat body cycles of the viviparous lizard, *Sceloporus mucronatus* (Sauria: Iguanidae). *Journal of Herpetology*, 22: 1-12.
- Méndez-de la Cruz, F. R., Casas-Andreu, G. y Cruz, M. V. S. 1992. Variación anual en la alimentación y condición física de *Sceloporus mucronatus* (Sauria: Iguanidae) en la sierra del Ajusco, Distrito Federal, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 37: 349-355.
- Méndez-de la Cruz, F. R., Casas-Andreu, G. y Cruz, M. V. S. 1992. Variación anual en la alimentación y condición física de *Sceloporus mucronatus* (Sauria: Iguanidae) en la sierra del Ajusco, Distrito Federal, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 37: 349-355.

- Metzger, K. A., & Herrel, A. 2005. Correlations between lizard cranial shape and diet: a quantitative, phylogenetically informed analysis. *Biological Journal of the Linnean Society*, 86: 433-466.
- Ortega-León, A. M., Smith, E. R., Zúñiga-Vega, J. J y Méndez-de la Cruz, F. R. 2007. Growth and demography of one population of the lizard *Sceloporus mucronatus mucronatus*. *Western North American Naturalist*, 67: 492-502.
- Ortiz, M. F., De Oca, A. N. M. y Ugarte, I. H. S. 2001. Diet and reproductive biology of the viviparous lizard *Sceloporus torquatus torquatus* (Squamata: Phrynosomatidae). *Journal of Herpetology*, 104-112.
- Pianka, E. R. 1986. Ecology and natural history of desert lizards. First edition. Princeton University Press, Princeton, New Jersey
- Pinto-Aguirre, J. A. 2014. Ecología de una comunidad de lagartijas del género *Anolis* en el Parque Nacional Yasuní. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ecuador.
- Puga y Colmenares, M. C., Ramírez-Bautista, A., Cruz-Elizalde, R., García-Rosales, A., y Hernández-Salinas, U. 2019. Feeding ecology and its relationship with head structures in two populations of the lizard *Sceloporus minor* (Squamata: Phrynosomatidae) from Northern Mexico. *Copeia*, 107: 542-549.
- Pyke, G. H. 1984. Optimal foraging theory: a critical review. *Annual review of ecology and systematics*, 15: 523-575.
- Pyke, G. H. y Starr, C. K. 2021. Optimal foraging theory. In *Encyclopedia of social insects* (pp. 677-685). Cham: Springer International Publishing.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa.
- Schwarzkopf, L. y Shine, R. 1991. Thermal biology of reproduction in viviparous skinks, *Eulamprus tympanum*: why do gravid females bask more?. *Oecologia*, 88: 562-569.

- Sites Jr., J. W., Archie, J. W., Cole, C. J. y Flores-Villela, O. 1992. A review of phylogenetic hypotheses for lizards of the genus *Sceloporus* (Phrynosomatidae): implications for ecological and evolutionary studies. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 213: 1-110.
- Tan, W. C., Measey, J., Vanhooydonck, B. y Herrel, A. 2021. The relationship between bite force, morphology, and diet in southern African agamids. *BMC Ecology and Evolution*, 2: 126.
- Triplehorn, C.A. y Johnson, N.F., 2005.- Borror and DeLong's Introduction to the study of insects. 7th edition. Thomson Brooks/Cole, Belmont, CA, USA.
- Vanhooydonck, B. y Van Damme, R. 1999. Evolutionary relationships between body shape and habitat use in lacertid lizards. *Evolutionary Ecology Research*, 1: 785-805.
- Van-Valen, L. 1965. Morphological variation and width of ecological niche. *The American Naturalist*, 99: 377-390.
- Vera-Ramírez, F. D. 2023. Estimación de la erosión hídrica de Santiago Tulantepec a través de la EUPSR integrada a SIG. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
- Verwajen, D., Van Damme, R. y Herrel, A. 2002. Relationships between head size, bite force, prey handling efficiency and diet in two sympatric lacertid lizards. *Functional Ecology*, 16: 842-850.
- Villagrán-Santa Cruz, M., Hernández-Gallegos, O. y Méndez-de la Cruz, F. R. 2009. Reproductive cycle of the lizard *Sceloporus mucronatus* with comments on intraspecific geographic variation. *Western North American Naturalist*, 69: 437-446.
- Vitt, L. J.; Caldwell, J. P.; Zani, P. A y Titus, T. A. The role of habitat shift in the evolution of lizard morphology: evidence from tropical *Tropidurus*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 94: 3828-32, 1997.

- Woolrich-Piña, G. A., Lemos-Espinal, J. A., Oliver-López, L., Calderón-Méndez, M. E., González-Espinoza, J. E., Correa-Sánchez, F. y Montoya-Ayala, R. 2006. Ecología térmica de una población de la lagartija *Sceloporus grammicus* (Iguanidae: Phrynosomatinae) que ocurre en la zona centro-oriente de la Ciudad de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 22: 137-150.
- Zárate-Hernández, R., Aguirre-León, A., Ortiz-Burgos, S. y Castillo-Rivera, M. 2007. Ecomorfología de peces estuarinos del Golfo de México. *ContactoS*, 66, 12-20.

CONCLUSIONES GENERALES

- Los resultados de este estudio sugieren que ausencia de dimorfismo sexual en talla (LHC), sin embargo, las proporciones de la cabeza son mayores en machos que en hembras. además, los individuos de la Estanzuela tienen tallas corporales (LHC) menores que los de Canta Ranas. Por otra parte, la especie bajo estudio parece ser una lagartija capaz de termoregular por heliotermia o tigmotermia de acuerdo a las circunstancias del ambiente. Durante la temporada de secas (de gestación), las hembras presentan temperaturas corporales más bajas que en lluvias posiblemente por su actividad reducida o requisitos térmicos diferentes.
- Se registra por primera vez a *Eutrombicula alfreddugesi*, *Geckobiella pelaezi* y *G. texana* como ectoparásitos de *Sceloporus mucronatus*, en la que su intensidad de infección varía de acuerdo con la temporada, ya que, en lluvias, la infestación por *E. alfreddugesi* es mayor y en secas. Los ácaros se alojaron principalmente en el cuello (dentro de los “bolsillos de ácaros”) y extremidades posteriores, es poco común que se alojen sobre la cabeza, posiblemente por la escutelación de esta región corporal. Las lagartijas con coloraciones llamativas, tallas grandes, con cola regenerada, ICF altos y en temporada de lluvias (temporada reproductiva), presentan mayor carga ectoparasitaria; sin embargo, las grandes cargas de ácaros aparentemente no comprometen la ecología del individuo (basándonos en lesiones, ICF, coloración, talla), sin embargo, podrían estar afectando a otros rasgos no evaluados (sistema inmune, locomoción, transmisión de virus y bacterias patógenas).
- La coloración ventral de machos y hembras son más intensos durante la temporada de lluvias (temporada reproductiva), así mismo la coloración del dorso y vientre de ambos sexos difiere entre poblaciones, en la que en zonas elevadas y de alto porcentaje de humedad, son ligeramente más oscuras posiblemente. Se encontraron algunos machos con coloración característica de hembras y algunas hembras con coloraciones nupciales, ya que durante la gestación adoptan colores ventrales más vistosos.

- Ambos sexos y poblaciones presentan una dieta omnívora durante la temporada de secas y lluvias, la presa más consumida son los coleópteros; sin embargo, la dieta se complementa con himenópteros (incluyendo formícidos) y materia vegetal, esta última es mayormente consumida durante la temporada de secas, cuando la abundancia de presa generalmente disminuye, provocando que el volumen de ingesta disminuya y con ello su ICF. La superposición y amplitud de nicho de cada sexo está determinado por la temporada y población donde se distribuyen; sin embargo, en ambas poblaciones la amplitud de nicho en machos aumenta durante la temporada de secas, cuando se alimentan de las presas disponibles y no mayoritariamente por la presa “fundamental” (coleópteros). No se encontró una asociación entre la morfología y la dieta consumida.

En conjunto, estos hallazgos evidencian que *S. mucronatus* es una especie altamente plástica en algunos rasgos fisiológicos, morfológicos y ecológicos, capaz de responder de manera diferencial a las variaciones ambientales a lo largo de su distribución. Este estudio contribuye al entendimiento integral de su ecología evolutiva, resaltando la importancia de considerar contextos geográficos y temporales para interpretar la variabilidad intra e interespecífica de diversos rasgos.

CONSIDERACIONES PARA FUTUROS ESTUDIOS

A pesar de que *S. mucronatus* es una especie abundante en los sitios donde se distribuye, actualmente son escasos los estudios enfocados en diversos caracteres ecológicos. La mayoría de las investigaciones se han centrado en aspectos de su biología reproductiva, mientras que otras dimensiones ecológicas han sido abordadas de forma anecdótica o circunstancial sin tener un seguimiento de las poblaciones de la especie. Además, existe un sesgo evidente en cuanto a las poblaciones estudiadas, ya que gran parte del conocimiento actual sobre la especie está basado en estudios realizados en los alrededores de la Sierra del Ajusco,

CDMX, por lo que es necesario realizar estudios en otros sitios de su distribución para entender el papel de los componentes genético y ambiental.

Este enfoque limitado ha dejado de lado la variabilidad ecológica que la especie podría presentar a lo largo de su rango de distribución. Los hallazgos del presente trabajo evidencian que dicha variabilidad es significativa, incluso entre poblaciones geográficamente cercanas. Se sugiere que *S. mucronatus* posee una notable capacidad de ajuste a diferentes condiciones ambientales, lo cual plantea preguntas relevantes sobre su plasticidad fenotípica y diversidad genética.

Para comprender de forma integral la ecología de la especie, es necesario emprender estudios que vayan más allá del ámbito local. La implementación de investigaciones de campo, así como de experimentos en jardín que incluyan individuos provenientes de poblaciones situadas en ambientes contrastantes (como matorrales y bosques de coníferas) permitiría evaluar con mayor precisión la plasticidad de diversos rasgos fenotípicos y ecológicos; y conocer las distintas estrategias que utiliza a lo largo de su rango de distribución.

Asimismo, es fundamental incorporar a *S. mucronatus* en estudios de comunidades, con el objetivo de explorar las interacciones que mantiene con otros organismos que viven en simpatria, tanto vertebrados como invertebrados. Comprender estas interacciones resulta clave para contextualizar su papel ecológico dentro de los ecosistemas que habita.

Finalmente, ante las amenazas ambientales actuales, como la expansión de asentamientos humanos de forma acelerada y el calentamiento global, resalta la necesidad de conocer con claridad el nicho ecológico de la especie. Solo así podremos anticipar los posibles efectos de estas transformaciones sobre sus poblaciones e implementar estrategias de conservación en puntos clave para la especie.